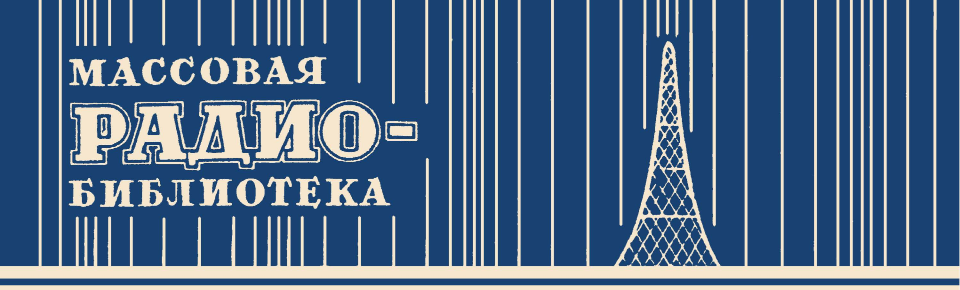
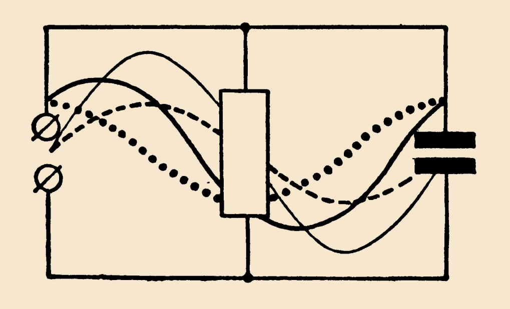


З. Б. ГИНЗБУРГ

СОПРОТИВЛЕНИЯ И КОНДЕНСАТОРЫ В РАДИОСХЕМАХ



Госэнергоиздат

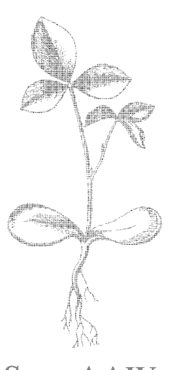
МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 193

З. Б. ГИНЗБУРГ

СОПРОТИВЛЕНИЯ И КОНДЕНСАТОРЫ В РАДИОСХЕМАХ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

В книге рассказывается о сопротивлениях и конденсаторах в электрических цепях, об использовании этих деталей в цепях радиоприемника, о применении их в некоторых схемах генераторов. Даются также примеры расчета цепей из сопротивлений и конденсаторов.

Рассчитана книга на радиолюбителей-конструкторов, знакомых с основами радиотехники.

Редактор *А. Х. Якобсон* Технич. редактор *И. М. Скворцов*

Сдано в набор 24/IX 1953 г. Подписано к печати 17/XI 1953 г.
Бумага 84/108/32. Объем: 4,52 печ. лист. Уч.-изд. 5,5 листов
Т-08236 Тираж 25 000 экз. Цена 2 р. 20 к. Зак. № 318

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ

В нашей стране — родине радио — с каждым годом ширится радиолюбительское движение. Многие тысячи советских радиолюбителей с увлечением овладевают новой передовой отраслью техники — радиотехникой. Они собирают и ремонтируют радиоприемники, телевизоры и другую радиоаппаратуру, радиофицируют колхозы, школы, клубы, помогают внедрять различные радиотехнические методы и устройства в наше социалистическое народное хозяйство. Всесоюзные выставки творчества радиолюбителей-конструкторов свидетельствуют о разносторонней и большой созидательной работе наших радиолюбителей.

Самостоятельная творческая работа, разработка новых конструкций и т. п. требуют от радиолюбителя больших и разносторонних знаний. Поэтому радиолюбитель должен сочетать свою практическую работу с настойчивой учебой.

Радиолюбителю надо систематически повышать свои знания в области радиотехники, уметь применять их на практике и не останавливаться на достигнутом после поверхностного ознакомления с предметом. Наиболее доступным путем для повышения знаний радиолюбителя является изучение радиолюбительской литературы, посвященной как общим вопросам радиотехники, так и отдельным более узким вопросам.

Данная брошюра предназначена помочь начинающим радиолюбителям научиться правильно применять, рассчитывать и использовать наиболее часто встречающиеся в их практической работе радиодетали — сопротивления и конденсаторы. В ней приводятся сведения из электротехники, касающиеся сопротивлений и конденсаторов, рассказывается о применении этих деталей в цепях радиоприемника, рассматривается использование их в некоторых схемах генераторов.

Автор

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СОПРОТИВЛЕНИЯХ И КОНДЕНСАТОРАХ

СОПРОТИВЛЕНИЕ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Сопротивление проводника. При движении электронов в проводнике находящиеся на пути их движения атомы мешают им, что приводит к искривлению путей электронов и вызывает замедление их упорядоченного передвижения. Таким образом, потоку электронов приходится преодолевать некоторое сопротивление со стороны проводника, называемое *электрическим сопротивлением.*

Сопротивление проводника постоянному току зависит от длины проводника, его поперечного сечения, материала, из которого он сделан, и от его температуры. Чем длиннее и тоньше проводник, тем больше его сопротивление. У металлического проводника оно увеличивается с повышением температуры. Два одинаковых по длине и сечению проводника имеют разное сопротивление, если они выполнены из различных материалов.

Сопротивление, которым обладает проводник длиной в 1 *м* и сечением в 1 *мм*², называется *удельным сопротивлением проводника.*

Сопротивление проводника постоянному току можно подсчитать по формуле

$$R = \frac{\rho l}{s},$$

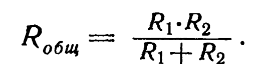
где R — сопротивление проводника, *ом*;
ρ — удельное сопротивление материала проводника (например, для меди $\rho = 0{,}0175$);
l — длина проводника, *м*;
s — сечение проводника, *мм*².

Соединение сопротивлений. На схемах сопротивление (как деталь) обычно изображается в виде прямоугольника и обозначается буквой R. Отдельные цепи схемы часто состоят из нескольких сопротивлений, соединенных между собой последовательно, параллельно или смешанно (фиг. 1).

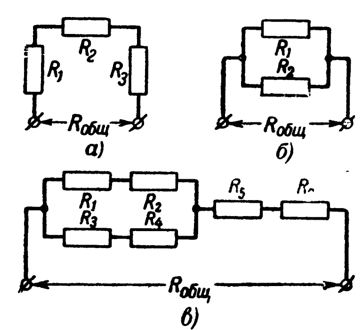
При *последовательном* соединении сопротивлений (фиг. 1,*а*) общее сопротивление цепи равняется сумме всех входящих в нее сопротивлений:

$$R_{о.щ} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

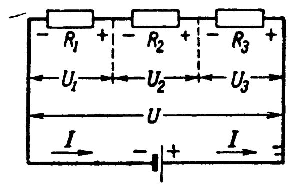
При *параллельном* соединении двух сопротивлений (фиг. 1,*б*) общее сопротивление цепи вычисляется по формуле



$$R_{общ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$



Фиг. 1. Соединение сопротивлений.
а—последовательное; *б*—параллельное; *в*—смешанное.



Фиг. 2. Цепь с последовательно включенными сопротивлениями.

Если в цепь включено параллельно несколько сопротивлений, то общее сопротивление цепи можно найти из формулы

$$\frac{1}{R_{общ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Смешанным соединением сопротивлений называют такое соединение, при котором некоторые участки цепи состоят из последовательно включенных сопротивлений, а некоторые из параллельно включенных (фиг. 1,*в*). Для определения общего сопротивления такой цепи сначала вычисляют общее сопротивление отдельных участков цепи, состоящих только из параллельно включенных сопротивлений и только из последовательно включенных сопротивлений, а затем,

суммируя сопротивления всех участков цепи, находят ее общее сопротивление.

Делитель напряжения. Если к источнику тока подключить цепь, состоящую из нескольких последовательно включенных сопротивлений (фиг. 2), то на каждом из них будет создаваться падение напряжения, пропорциональное величине этого сопротивления. Падение напряжения равно произведению величины тока, проходящего по цепи, на величину сопротивления, т. е.

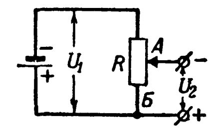
$$U_1 = IR_1,\ U_2 = IR_2 \text{ и } U_3 = IR_3.$$

Сумма напряжений на отдельных участках цепи равна напряжению источника тока, т. е.

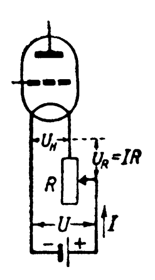
$$U_1 + U_2 + U_3 = U.$$

Таким образом, с помощью нескольких сопротивлений можно собрать схему *делителя напряжения* и от одного источника тока получать *различные напряжения.*

При подключении к источнику тока *потенциометра* (переменного сопротивления) можно плавно изменять величину напряжения U_2 (от 0 до U_1) между его движком и одним из зажимов (фиг. 3). Напряжение U_2 на выходе потенциометра R будет пропорционально сопротивлению между его точками A и $Б$.



Фиг. 3. Схема включения потенциометра.



Фиг. 4. Схема включения реостата в цепь накала.

Для понижения напряжения, получаемого от источника тока, применяют также *реостаты* (переменные сопротивления). Их часто используют, например, в цепях накала радиоламп (фиг. 4). Передвигая ползунок реостата R, устанавливают в цепи такой ток I, при котором на нити накала лампы получается нужное напряжение $U_н$.

Мощность, рассеиваемая на сопротивлении. При прохождении тока через сопротивление на нем расходуется (рассеивается) мощность. Эту мощность можно подсчитать по одной из следующих формул:

$$P = U \cdot I,\ P = I^2 \cdot R \text{ и } P = \frac{U^2}{R},$$

где P — рассеиваемая на сопротивление мощность, *вт*;
U — падающее на сопротивление напряжение, *в*;
I — проходящий через сопротивление ток, *а*;
R — величина сопротивления, *ом*.

Каждое сопротивление в зависимости от своей конструкции и типа допускает рассеяние на нем определенной мощности, называемой *допустимой*. Если сопротивление находится в таком режиме, что на нем рассеивается мощность, превышающая допустимую, то оно перегревается и может перегореть. В ряде случаев даже небольшой перегрев сопротивлений приводит к изменению их величины. Поэтому при конструировании, сборке и ремонте радиоаппаратуры нужно правильно выбирать необходимые сопротивления, учитывая *допустимую мощность рассеяния*. При отсутствии достаточно мощного сопротивления вместо него можно использовать несколько сопротивлений, рассчитанных на меньшую мощность, соединив их между собой параллельно или последовательно.

В приемно-усилительных устройствах используются главным образом *непроволочные сопротивления*. Они выпускаются на мощности в 0,1, 0,25, 0,5, 1, 2, 5 и 10 *вт*. Подбор сопротивлений по их номинальной мощности можно производить по табл. 1, в графах которой приведены значения тока в миллиамперах.

Таблица 1

Номинальная мощность, *вт*	Сопротивления												
	ом									*мгом*			
	100	200	500	1 000	2 000	5 000	10 000	20 000	50 000	0,1	0,2	0,5	1
0,25	50	35	22	16	11,5	7	5	3,5	2,5	1,6	1,2	0,7	0,5
0,5	70	50	32	22	16	10	7	5	3,2	2,2	1,6	1,0	0,7
1,0	100	70	45	32	22	14	10	7	4,5	3,2	2,2	1,4	1,0
2,0	140	100	64	45	32	20	14	10	6,4	4,5	3,2	2,0	1,4

Пусть, например, необходимо определить, какой мощности следует взять сопротивление 20 000 *ом*, если через него проходит ток 4,5 *ма*.

Находим в табл. 1 графу для величины 20 000 *ом*. Ток 4,5 *ма* в ней не указан. Тогда в этой же графе берем ближайшую величину, т. е. 5 *ма*, и в начале строки находим номинальную мощность сопротивления в 0,5 *вт*.

Индуктивное сопротивление. Проходящий по проводнику электрический ток создает вокруг него магнитное поле, Если ток переменный, то переменным оказывается и создаваемое им магнитное поле. В этом случае силовые линии магнитного поля, пересекая проводник, вызывают в нем появление э. д. с. электромагнитной индукции, направленной против э. д. с. источника тока.

Сопротивление проводника переменному току, обусловленное электромагнитной индукцией, называют *индуктивным сопротивлением* и вычисляют по формуле

$$X_L = \omega L = 2\pi f L,$$

где X_L — индуктивное сопротивление проводника, *ом*;

$\omega = 2\pi f$, где $\pi = 3{,}14$, а f — частота тока, *гц*;

L — индуктивность проводника, *гн*.

Непроволочные сопротивления, а также проволочные *бифилярной намотки* не обладают заметным индуктивным сопротивлением. Поэтому индуктивное сопротивление их не учитывается.

Поверхностный эффект. Сопротивление проводника в цепи переменного тока зависит также от так называемого *поверхностного эффекта* («вытеснения» тока к поверхности проводника). Оно увеличивается с повышением частоты.

В непроволочных сопротивлениях поверхностный эффект проявляется слабо и поэтому не учитывается.

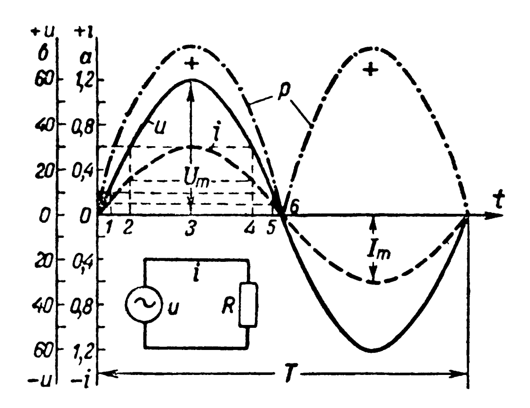
Цепь с активным сопротивлением. Рассмотрим цепь, содержащую источник переменного тока и, например, непроволочное сопротивление R (фиг. 5).

Допустим, что амплитудное напряжение источника $U_m = 60$ *в*, а сопротивление $R = 100$ *ом*. Пользуясь формулой закона Ома $i = \frac{u}{R}$ (для мгновенных значений тока и напряжения), построим график тока i в цепи. График изменения напряжения u задан (показан на фиг. 5 сплошной линией).

В момент времени *0* напряжение u равно нулю, следовательно, и ток i также равен нулю. Далее напряжение u

повышается и в точке *1* становится равным 10 *в*. Ток *i* для этой точки равен 0,1 *а*. Пользуясь той же формулой, можно подсчитать ток и для других моментов времени, отмеченных цифрами *2*, *3*, *4*, *5* и *6*. Продолжая эти расчеты и откладывая найденные значения тока *i* в определенном масштабе, получим график изменения тока *i* в цепи (штриховая линия на фиг. 5).

Как видно из фиг. 5, кривые тока и напряжения одновременно проходят через нулевые и максимальные (амплитудные) значения, т. е. в рассматриваемой цепи ток и напряжения совпадают по фазе.



Фиг. 5. Цепь переменного тока с активным сопротивлением и графики изменения напряжения, тока и мощности.

Мощность, потребляемая сопротивлением *R* от источника переменного тока, в каждый отдельный момент времени различна, так как она равняется произведению мгновенных значений напряжения и тока, которые изменяются по закону синусоиды. График изменения мощности *p* показан на фиг. 5 штрихпунктирной линией. Из рассмотрения этого графика следует, что сопротивление *R* в течение всего периода *T* потребляет мощность.

Сопротивления, потребляющие мощность, называются *активными* в отличие от реактивных сопротивлений, не потребляющих мощности.

Таким образом, рассмотренная цепь с активным сопротивлением характеризуется тем, что она потребляет мощность от источника тока и что ток и напряжение в такой

цепи совпадают по фазе. Так как подсчет мощности, потребляемой активным сопротивлением от источника переменного тока, по мгновенным значениям тока и напряжения неудобен, то на практике подсчитывают среднюю мощность за период. Она равняется произведению действующих (эффективных) значений тока I и напряжения U:

$$P = I_{эфф} \cdot U_{эфф}, \; P = I^2_{эфф} \cdot R \text{ и } P = \frac{U^2_{эфф}}{R}.$$

Напомним, что действующее значение данного переменного тока численно равно такому постоянному току, который за время одного периода выделит на нагрузке такое же количество тепла, как и данный переменный ток.

Между действующим и амплитудным значениями тока ($I_{эфф}$ и I_m), а также между действующим и амплитудным значениями напряжения ($U_{эфф}$ и U_m) существуют следующие соотношения:

$$I_{эфф} = \frac{I_m}{1,41}; \quad U_{эфф} = \frac{U_m}{1,41}.$$

Для кривой напряжения u, изображенной на фиг. 5, амплитудное значение составляет 60 *в*, а действующее значение $U = \frac{60}{1,41} = 42,5$ *в*. Для кривой тока i амплитудное значение составляет 0,6 *а*, а действующее значение $I = \frac{0,6}{1,41} = 0,425$ *а*. Для рассмотренной цепи мощность P, потребляемая сопротивлением R, составляет:

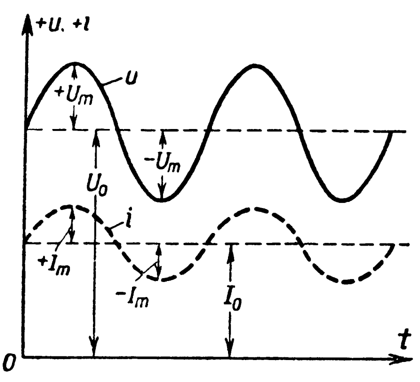
$$P = I^2R = 0,425^2 \cdot 100 \approx 18 \text{ вт}.$$

Большинство измерительных приборов, применяемых для измерений в цепях переменного тока, показывают действующие значения. Поэтому обычно все расчеты, связанные с подобными цепями, ведут именно для действующих значений напряжений и токов.

Если в цепи переменного тока имеется несколько сопротивлений, включенных последовательно или параллельно, то общее сопротивление цепи, распределение падений напряжения при последовательном соединении, распределение токов при параллельном соединении, выделение мощности на отдельных участках и т. п. определяются точно так же, как и для цепей, питаемых от источника постоянного тока.

Помимо постоянного или переменного токов, в радиосхемах часто приходится иметь дело с пульсирующим током. Характер и форма пульсирующего тока могуть быть различными. Пульсирующий ток протекает по цепи всегда в одном направлении (как и постоянный), но его величина периодически меняется. Можно считать, что пульсирующий ток (и напряжение) состоит из двух составляющих — постоянной и переменной.

На фиг. 6 сплошной линией показано изменение напряжения u такого тока. Постоянная составляющая U_0 не меняется с течением времени. На эту постоянную составляющую наложена переменная в виде переменного напряжения с амплитудой U_m. Если к такому источнику тока присоединить обычный вольтметр, то он покажет некоторое среднее значение напряжения. В том случае, когда кривая переменной составляющей симметрична, как, например, при синусоидальной форме кривой напряжения u, такой средней величиной является постоянная составляющая U_0.



Фиг. 6. Графики пульсирующего напряжения и тока в цепи с активным сопротивлением.

Представим себе цепь, состоящую из одного активного сопротивления R, присоединенную к источнику пульсирующего тока со средним напряжением U_0. Примем, что переменная составляющая напряжения изменяется синусоидально. Для того чтобы определить величину и характер тока, проходящего по такой цепи, надо по закону Ома подсчитать ток для нескольких точек кривой напряжения аналогично тому, как это было сделано для сопротивления в цепи переменного тока.

Не будем производить здесь всех этих подсчетов, но укажем лишь, что в результате получится кривая изменения тока, которая показана на фиг. 6 пунктирной линией. Как и напряжение, ток является пульсирующим. Подобно напряжению его можно разделить на две составляющие — постоянную с величиной I_0 и переменную (в нашем слу-

чае — синусоидальную) с амплитудой I_m. Переменная составляющая тока изменяется с той же частотой, что и переменная составляющая напряжения, причем обе кривых совпадают по фазе. Если включить в такую цепь обычный амперметр, то он покажет среднее значение тока, которое в случае симметричной кривой переменной составляющей равно постоянной составляющей I_0.

Постоянные составляющие (средние значения) тока и напряжения связаны между собой законом Ома, т. е. $I_0 = \frac{U_0}{R}$. Поэтому расчет цепей пульсирующего тока, состоящих из нескольких последовательно или параллельно соединенных сопротивлений, производится теми же способами, что и при постоянном токе, с той лишь разницей, что в этом случае берутся средние значения напряжения и тока.

ЕМКОСТЬ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

Конденсатор. Способность проводников вмещать то или другое количество зарядов (при одном и том же потенциале) называется *электрической емкостью*. Одиночные проводники даже очень больших размеров обладают сравнительно малой электрической емкостью. Поэтому для получения достаточно большой электрической емкости обычно используют *конденсаторы*. Простейший конденсатор содержит две металлические пластины, изолированные друг от друга диэлектриком (изолятором).

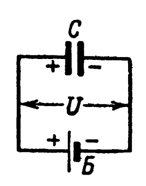
Емкость C конденсатора зависит от площади его пластин, расстояния между ними и от диэлектрической проницаемости материала, используемого в качестве диэлектрика. Она может быть вычислена по формуле

$$C = 0{,}09 \frac{\varepsilon S}{d},$$

где C — емкость, *пф*;
S — площадь одной пластины, *см*^{2};
ε — диэлектрическая проницаемость материала диэлектрика;
d — расстояние между пластинами, *см*.

Из этой формулы следует, что емкость конденсатора увеличивается при увеличении диэлектрической проницаемости, площади пластин и при уменьшении расстояния между ними.

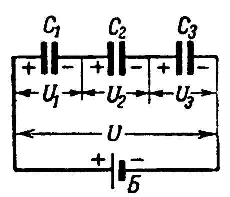
Всякий конденсатор характеризуется не только величиной емкости, но и величиной напряжения, которое выдерживает его диэлектрик. При слишком больших напряжениях (превышающих допустимые) на пластинах конденсатора происходит пробой диэлектрика. На некоторых типах конденсаторов указывается напряжение, которым они испытаны, и допустимое рабочее напряжение.



Фиг. 7. Конденсатор в цепи источника постоянного тока.

Конденсатор в цепи постоянного тока. Рассмотрим цепь, состоящую из источника тока *Б* и конденсатора *С* (фиг. 7). При подключении конденсатора к источнику тока в его цепи пройдет ток, который зарядит конденсатор и создаст на его обкладках напряжение. Как только это напряжение станет равным напряжению источника, ток в цепи прекратится. Этот процесс происходит настолько быстро, что его можно считать почти мгновенным. Конденсатор зарядится так, что на обкладке, присоединенной к положительному зажиму источника, будет «плюс» а на присоединенной к отрицательному зажиму — «минус».

Отсутствие тока в цепи заряженного конденсатора будет иметь место только в том случае, если сопротивление изоляции между пластинами конденсатора бесконечно велико и, следовательно, ток утечки отсутствует. Таким образом, конденсатор с идеальным диэлектриком представляет собой бесконечно большое сопротивление для постоянного тока.



Фиг. 8. Цепь с последовательно включенными конденсаторами.

Если после заряда отключить источник тока, то заряд на конденсаторе может сохраняться очень долго. Но так как изоляция реального конденсатора обладает некоторым конечным, хотя и очень большим сопротивлением, то с течением времени происходит саморазряд конденсатора и заряд на его обкладках становится равным нулю.

Соединение конденсаторов. Для создания необходимой емкости или для обеспечения нормального режима работы конденсаторов, применяют последовательное, параллельное или смешанное их соединение.

Последовательное соединение трех конденсаторов показано на фиг. 8. Процесс их заряда в такой цепи происходит

подобно заряду одиночного конденсатора. В момент включения источника тока по цепи проходит почти мгновенно зарядный ток, и на каждом из конденсаторов создается некоторое напряжение. При этом ни на одном из конденсаторов напряжение не достигает величины, равной напряжению источника тока. Последнее распределяется между всеми конденсаторами, причем сумма напряжений, получающихся на отдельных конденсаторах, равна напряжению источника тока:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

Если бы конденсаторы имели диэлектрик, обладающий идеальными свойствами, т. е. такой, сопротивление изоляции которого было бы бесконечно велико, то величина напряжений на отдельных конденсаторах была бы обратно пропорциональна их емкостям, т. е.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1}, \quad \frac{U_2}{U_3} = \frac{C_3}{C_2} \text{ и } \frac{U_1}{U_3} = \frac{C_3}{C_1}.$$

Но так как любой диэлектрик обладает некоторым, хотя и большим, но определенным сопротивлением, то напряжения на конденсаторах распределяются пропорционально сопротивлению их изоляции. Это следует учитывать в радиолюбительской практике, когда по каким-либо причинам в цепь постоянного тока приходится включать последовательно два или несколько конденсаторов. Наибольшее напряжение будет на том конденсаторе, который имеет изоляцию с бо́льшим сопротивлением. Если это напряжение окажется больше, чем то, на которое он рассчитан, может произойти пробой конденсатора.

При последовательном соединении нескольких конденсаторов они будут работать как один, но с меньшей емкостью. Общая емкость цепи, содержащей несколько последовательно включенных конденсаторов, может быть подсчитана по формуле

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

Если, например, в цепи имеется два конденсатора: один 1 *мкф*, а другой 2 *мкф*, соединенных последовательно, то общая емкость такой цепи определится из формулы

$\frac{1}{C} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2} = \frac{3}{2}$, т. е. будет равна $C = \frac{2}{3} \approx 0{,}66$ *мкф*.

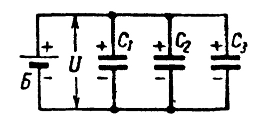
Как видно из этого примера, общая емкость цепи оказалась меньшей, чем емкость самого малого конденсатора.

Цепь с параллельно соединенными конденсаторами показана на фиг. 9. Процесс заряда каждого из них происходит точно так же, как и заряд одиночного конденсатора, и независимо от заряда других конденсаторов. В результате на всех конденсаторах устанавливается напряжение, равное напряжению источника тока.

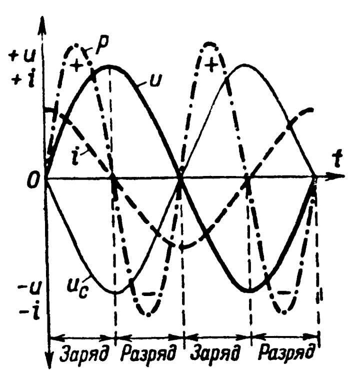
Общая емкость параллельно включенных конденсаторов равна сумме емкостей всех включенных в цепь конденсаторов:

$$C = C_1 + C_2 + C_3.$$

Конденсатор в цепи переменного тока. При подключении конденсатора к источнику переменного тока по такой цепи проходит ток.



Фиг. 9. Цепь с параллельно включенными конденсаторами.



Фиг. 10. Графики изменения напряжения, тока и мощности в цепи переменного тока с конденсатором.

В этом можно убедиться, включив последовательно с конденсатором индикатор тока.

Допустим, что напряжение источника переменного тока изменяется по кривой u, показанной на фиг. 10. В тот момент, когда цепь только что включена, конденсатор не имеет заряда и напряжение u_C на его обкладках равно нулю. Напряжение в этот момент начинает резко увеличиваться и зарядный ток i поэтому имеет максимальное значение.

По мере заряда конденсатора напряжение u_C на нем возрастает и стремится стать равным по величине напряжению источника тока, оставаясь в то же время обратным по знаку. Вследствие этого, несмотря на возрастание напряжения u, зарядный ток конденсатора будет постепенно уменьшаться. К концу первой четверти периода зарядный

ток падает до нуля, а напряжение u_C на конденсаторе достигает наибольшего значения, равного максимальному значению напряжения *u* источника тока.

Во второй четверти периода напряжение *u* источника тока начинает уменьшаться. Поэтому напряжение u_C на обкладках конденсатора все время оказывается бо́льшим, чем у источника. Это ведет к тому, что конденсатор разряжается на внешнюю цепь. В результате по цепи пойдет ток разряда, направленный противоположно по отношению к току заряда. Так как напряжение *u* источника уменьшается сначала медленно, а затем все более быстро, то и ток разряда вначале мал, а затем постепенно увеличивается, достигая к концу второй четверти периода наибольшей величины. К этому моменту уже весь заряд конденсатора окажется израсходованным и напряжение u_C на его обкладках станет равным нулю. Точно также станет равным нулю и напряжение *u* источника тока, которое изменяется по синусоидальной кривой.

В третьей четверти периода напряжение *u* нарастает, но уже в обратном направлении. При этом конденсатор заряжается также в обратном направлении. В конце этой части периода в момент прекращения нарастания напряжения *u* ток *i* прекратится.

В четвертой четверти периода напряжение *u* уменьшается, конденсатор разряжается и т. д.

В рассматриваемой цепи с конденсатором в отличие от цепи с активным сопротивлением изменения тока *i* и напряжения *u* не совпадают по фазе. В цепи с конденсатором ток *i* опережает напряжение *u* на четверть периода, или, как говорят, на 90°.

Емкостное сопротивление. Отчего зависит величина тока в цепи конденсатора? Известно, что чем больше емкость конденсатора, тем большее количество электричества необходимо для того, чтобы его полностью зарядить. В свою очередь количество электричества, поступающего в конденсатор в единицу времени при заряде, есть величина его зарядного тока. Следовательно, чем больше емкость конденсатора, тем больше ток заряда (или разряда) или ток в его цепи.

С другой стороны, чем больше частота переменного напряжения, приложенного к конденсатору, тем большее число раз конденсатор будет заряжаться и разряжаться, тем большее количество электричества пройдет через цепь конден-

сатора в секунду, т. е. тем больше будет ток в цепи конденсатора.

Отсюда следует, что сопротивление, оказываемое конденсатором переменному току, зависит от его емкости и частоты тока. Это сопротивление называется *емкостным* или реактивным сопротивлением и вычисляется по формуле

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C},$$

где X_C — емкостное сопротивление, *ом*;
$\omega = 2\pi f$, где $\pi = 3{,}14$, а f — частота тока, *гц*;
C — емкость конденсатора, *ф*.

Допустим, что источник переменного тока с частотой $f = 1\,600$ *гц* и напряжением $U = 20$ *в* питает цепь, состоящую из одного конденсатора емкостью $C = 0{,}1$ *мкф* $= 1 \cdot 10^{-7}$ *ф*. Емкостное сопротивление такого конденсатора

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1\,600 \cdot 10^{-7}} \approx 1\,000 \text{ ом}.$$

Зная напряжение источника тока и сопротивление цепи, можно по закону Ома определить ток в цепи:

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{20}{1\,000} = 0{,}02 \text{ а, или } 20 \text{ ма}.$$

Все напряжение источника тока падает на этом конденсаторе, в чем нетрудно убедиться, воспользовавшись для этого тем же законом Ома:

$$U_C = I \cdot X_C = 0{,}02 \cdot 1\,000 = 20 \text{ в}.$$

Возьмем более сложную цепь, состоящую из трех последовательно соединенных конденсаторов, подобную той, которая была показана на фиг. 8. Допустим, что источник переменного тока имеет напряжение $U = 22{,}2$ *в*, емкость конденсатора $C_1 = 50\,000$ *пф* $= 0{,}05 \cdot 10^{-6}$ *ф*, $C_2 = 500\,000$ *пф* $= 0{,}5 \cdot 10^{-6}$ *ф* и $C_3 = 5$ *мкф* $= 5 \cdot 10^{-6}$ *ф*, а частота источника тока $f = 1\,600$ *гц*.

Найдем общее емкостное сопротивление цепи. Для этого необходимо сложить все емкостные сопротивления отдельных конденсаторов, т. е.

$$X_C = X_{C1} + X_{C2} + X_{C3}.$$

Найдем величины отдельных емкостных сопротивлений:

$$X_{C1} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1\,600 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-6}} \approx 2\,000 \text{ ом},$$

$$X_{C2} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1\,600 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-6}} \approx 200 \text{ ом}$$

и

$$X_{C3} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1\,600 \cdot 5 \cdot 10^{-6}} \approx 20 \text{ ом}.$$

Общее емкостное сопротивление

$$X_C = 2\,000 + 200 + 20 = 2\,220 \text{ ом}.$$

Определим ток в цепи.

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{22{,}2}{2\,220} = 0{,}01 \text{ а, или } 10 \text{ ма}.$$

Подсчитаем падение напряжений U_1 (на конденсаторе C_1), U_2 (на конденсаторе C_2) и U_3 (на конденсаторе C_3):

$$U_1 = I \cdot X_{C1} = 0{,}01 \cdot 2\,000 = 20 \text{ в};$$

$$U_2 = I \cdot X_{C2} = 0{,}01 \cdot 200 = 2 \text{ в};$$

$$U_3 = I \cdot X_{C3} = 0{,}01 \cdot 20 = 0{,}2 \text{ в}.$$

Сумма падений напряжений на всех трех конденсаторах

$$U = 20 + 2 + 0{,}2 = 22{,}2 \text{ в},$$

т. е. равно тому напряжению, которым обладает источник переменного тока.

Таким образом, с помощью емкостных сопротивлений, включенных последовательно в цепь переменного тока, можно создать делитель напряжения, подобно тому, как это делается в цепи постоянного или переменного тока с помощью активных сопротивлений.

Рассмотрим цепь переменного тока из трех параллельно включенных конденсаторов, подобную той, которая показана на фиг. 9. В этой цепи каждая емкость работает самостоятельно и независимо от других. Величины емкостей и частоту источника оставим такими же, как и в предыдущем примере, а напряжение источника возьмем равным 10 *в*.

Тогда по первой ветви цепи согласно закону Ома пройдет ток (через конденсатор C_1)

$$I_1 = \frac{U}{X_{C1}} = \frac{10}{2\,000} = 0{,}005 \text{ а, или } 5 \text{ ма},$$

по второй ветви (через конденсатор C_2)

$$I_2 = \frac{U}{X_{C2}} = \frac{10}{200} = 0{,}05 \text{ а, или } 50 \text{ ма},$$

и по третьей ветви (через конденсатор C_3)

$$I_3 = \frac{U}{X_{C3}} = \frac{10}{20} = 0{,}5 \text{ а, или } 500 \text{ ма}.$$

Так как все токи всех ветвей находятся в фазе, то для подсчета общего тока I их можно сложить; тогда

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}005 + 0{,}05 + 0{,}5 = 0{,}555 \text{ а}.$$

Падение напряжения на каждом из трех конденсаторов одинаково и равно напряжению источника тока. В этом можно убедиться, производя соответствующие подсчеты по закону Ома.

Общее емкостное сопротивление цепи с параллельно соединенными конденсаторами подсчитывается по формуле

$$\frac{1}{X_C} = \frac{1}{X_{C1}} + \frac{1}{X_{C2}} + \frac{1}{X_{C3}} + \dots$$

Для нашего случая

$$\frac{1}{X_C} = \frac{1}{2\,000} + \frac{1}{200} + \frac{1}{20} = \frac{1 + 10 + 100}{2\,000} = \frac{111}{2\,000},$$

откуда

$$X_C = \frac{2\,000}{111} \approx 18 \text{ ом.}$$

Зная общее сопротивление цепи, можно по закону Ома определить в ней величину тока

$$I = \frac{U}{X_C} = \frac{10}{18} = 0{,}555 \text{ а},$$

так же как это было сделано ранее, другим способом.

Таким образом, подсчеты для цепи с параллельно включенными конденсаторами, присоединенными к цепи переменного тока, производятся так же, как и для активных сопротивлений при их параллельном соединении, с той лишь разницей, что вместо величин активных сопротивлений в данном случае берутся величины емкостных сопротивлений конденсаторов.

Мощность, потребляемая конденсатором. При подключении идеального конденсатора к источнику переменного тока конденсатор не потребляет мощности, так как энергия, полученная им при заряде в течение первой и третьей четвертей периода, полностью возвращается к источнику тока в результате разряда конденсатора в течение второй и четвертой четвертей периода. Это легко проверить, подсчитав значения мощности для нескольких моментов времени в течение одного периода изменения тока и построив график изменения мощности p (фиг. 10).

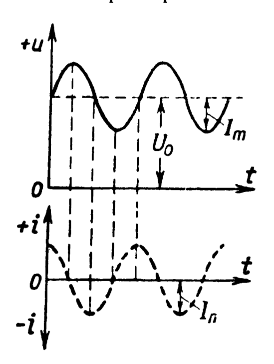
На графике фиг. 10 положительные значения мощности, расположенные над горизонтальной осью, соответствуют заряду конденсатора, а отрицательные — его разряду (т. е. тому времени, когда конденсатор, как бы сам является источником тока). Из рассмотрения графика следует, что положительные и отрицательные мощности равны; следовательно, средняя мощность, потребляемая конденсатором в течение периода, равна нулю.

Однако реальные конденсаторы потребляют некоторую мощность от источника тока за счет активных потерь внутри конденсатора, так как при изменении величины и полярности напряжения на конденсаторе парные заряды его диэлектрика изменяют свое положение, т. е. в конденсаторе создается ток смещения. Этот ток нагревает диэлектрик и последний излучает тепло. Энергия, затраченная на нагревание конденсатора, не возвращается к источнику тока, а бесполезно растрачивается в окружающем пространстве.

Потери в диэлектрике конденсатора зависят от частоты и от величины тока через конденсатор. С увеличением частоты и тока мощность потерь возрастает.

Кроме потерь мощности в диэлектрике, в конденсаторах имеют место потери на утечку тока, обусловленную недостаточно совершенной изоляцией между его обкладками. В результате этого к пластинам конденсатора оказывается как бы параллельно подключенным активное сопротивление утечки, по которому проходит ток и, следовательно, затрачивается мощность.

Потери мощности в конденсаторах приемно-усилительных схем обычно настолько малы, что их не учитывают.



Фиг. 11. Графики изменения пульсирующего напряжения и тока в цепи с конденсатором.

Конденсатор в цепи пульсирующего тока. Рассмотрим режим работы конденсатора, подключенного к источнику пульсирующего тока. Напряжение пульсирующего тока, как уже указывалось, можно разложить на постоянную составляющую с напряжением U_0 и переменную составляющую с амплитудой U_m (фиг. 11).

При замыкании цепи конденсатор почти мгновенно зарядится до напряжения, равного постоянной составляющей U_0. Затем в течение первой четверти периода напряжение на конденсаторе будет постепенно повышаться под влиянием зарядного тока i и к концу этой четверти достигнет наибольшего значения, т. е. $U_0 + U_m$. В следующей четверти периода, когда напряжение источника станет уменьшаться, конденсатор начнет разряжаться, и ток i по цепи пойдет уже в обратном направлении. Разрядный ток постепенно увеличится и дойдет до своего наибольшего значения к концу

второй четверти периода. Далее разряд конденсатора (третья четверть периода) происходит с постепенно убывающим током i и к тому моменту, когда напряжение источника дойдет до своего минимума $(U_0 - U_m)$, разряд конденсатора прекратится и ток i станет равным нулю. С начала четвертой четверти периода напряжение источника начинает постепенно повышаться и в каждый отдельный момент оказывается больше напряжения на обкладках конденсатора. Под влиянием этого начнется новый заряд конденсатора и т. д.

Таким образом, в цепи конденсатора циркулирует ток заряда и разряда. При этом направление тока периодически меняется с частотой, которую имеет переменная составляющая напряжения источника, т. е., иными словами, по цепи проходит переменный ток. Так же периодически изменяется и напряжение на конденсаторе, которое в любой момент стремится стать равным напряжению источника.

Так как ток в цепи обусловливается наличием переменной составляющей напряжения источника, то и величина этого тока зависит от переменной составляющей В этом случае остаются все те соотношения, которые были приведены для цепи с конденсатором и источником переменного тока. При определении тока в цепи конденсатора надо только исходить из действующего значения переменной составляющей напряжения, равной $\frac{U_m}{1,41}$, и ее частоты. Как и при переменном токе, мощность, потребляемая конденсатором от источника пульсирующего тока, равна нулю.

Наличие конденсатора в цепи пульсирующего тока позволяет выделить его переменную составляющую. При выборе конденсатора для включения в цепь пульсирующего тока следует учитывать, что его рабочее напряжение должно превышать максимальную величину пульсирующего напряжения $(U_0 + U_m)$, так как иначе может иметь место пробой конденсатора.

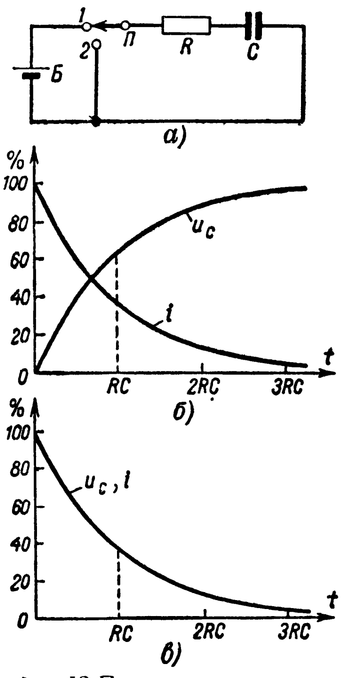
ЦЕПЬ С СОПРОТИВЛЕНИЕМ И ЕМКОСТЬЮ

Последовательное соединение сопротивления и конденсатора. Составим последовательную цепь (фиг. 12,*а*), состоящую из активного сопротивления R и конденсатора C, и присоединим ее к источнику постоянного тока *Б*, для чего переключатель *П* поставим в положение *1*.

Если бы в этой цепи сопротивление R отсутствовало, то конденсатор C почти мгновенно зарядился бы до полного напряжения источника. Наличие же сопротивления R ограничивает величину зарядного тока, вследствие чего процесс заряда конденсатора замедляется.

В момент включения цепи напряжение на обкладках конденсатора равно нулю и зарядный ток наибольший. В этот момент конденсатор как бы замкнут накоротко, и ток в его цепи обусловлен только сопротивлением R и напряжением источника U, т. е.

$$i = \frac{U}{R}.$$



Фиг. 12. Последовательная цепь из сопротивления и конденсатора.

а — схема для заряда и разряда конденсатора через сопротивление; *б* — изменение напряжения и тока при заряде конденсатора через сопротивление; *в* — изменение напряжения и тока при разряде конденсатора через сопротивление.

По мере заряда конденсатора между его обкладками создается возрастающее напряжение u_C, направленное противоположно напряжению источника. Вследствие этого разность между напряжением источника и конденсатора постепенно уменьшается, что влечет за собой постепенное уменьшение зарядного тока. Кривые, иллюстрирующие процесс заряда конденсатора и показывающие изменение напряжения на конденсаторе u_C и зарядного тока i, приведены на фиг. 12,*б*.

Так как сопротивление R оказывает ограничивающее действие на зарядный ток, то естественно, что чем больше его величина, тем дольше происходит процесс заряда. С другой стороны, чем больше емкость конденсатора C, тем также больше необходимо времени для его полного заряда. Таким образом, время заряда в равной мере зависит как от величины R, так и от величины C; точнее — оно зависит от произведения обеих этих величин, т. е. от $R \cdot C$.

Произведение RC характеризует время, потребное на заряд или разряд конденсатора через сопротивление и называется *постоянной времени.* Если сопротивление выражено в омах, а емкость в фарадах, то постоянная времени выражается в секундах.

Постоянная времени — это промежуток времени, спустя который зарядный ток по сравнению с начальным уменьшается в 2,72 раза. Напомним, что это число, обозначаемое в алгебре буквой e, является основанием натуральных логарифмов. Напряжение на заряжаемом конденсаторе через этот промежуток времени возрастет от нуля до

$$u_C = U\left(1 - \frac{1}{e}\right) = U\left(1 - \frac{1}{2,72}\right) = 0,63\ U,$$

где U — напряжение источника тока, от которого производится заряд конденсатора.

Для большего удобства при подсчете постоянной времени сопротивление можно брать в мегомах, а емкость — в микрофарадах. Например, если в цепь включено сопротивление в 500 000 *ом* и конденсатор в 0,2 *мкф*, то постоянная времени такой цепи равна

$$R \cdot C = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ сек.}$$

Если в схеме фиг. 12,*а* переключатель $П$ перевести из положения *1* в положение *2*, то заряженный конденсатор C окажется замкнут на сопротивление R и начнет разряжаться через это сопротивление. При этом направление тока в цепи будет противоположно току заряда.

В момент начала разряда напряжение на конденсаторе равно напряжению источника, т. е. U. Тогда и ток в начальный момент равен

$$i = \frac{U}{R}.$$

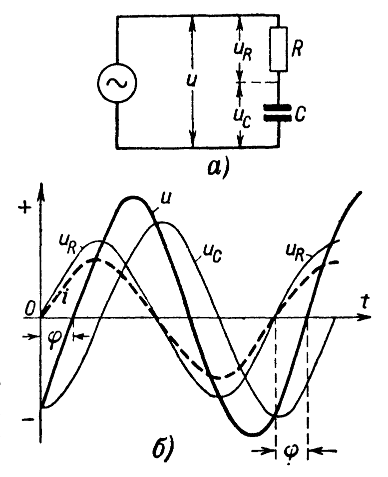
В следующие моменты времени по мере разряда конденсатора напряжение на нем постепенно уменьшается, что в свою очередь вызывает уменьшение разрядного тока. Разряд продолжается до тех пор, пока весь запас энергии, полученный конденсатором при заряде, не израсходуется и его напряжение не упадет до нуля. Кривые тока разряда и изменения напряжения на конденсаторе при разряде показаны на фиг. 12,*в*.

Как и при заряде конденсатора продолжительность его разряда зависит от произведения RC, т. е. характеризуется

постоянной времени цепи. Чем больше емкость конденсатора, тем больше его заряд и тем дольше он расходуется при разряде, и чем больше сопротивление R, тем больше оно ограничивает величину разрядного тока и тем дольше этот ток протекает по цепи. Через промежуток времени, равный постоянной времени, напряжение на конденсаторе (и разрядный ток) станет в 2,72 раза меньше по сравнению с первоначальным.

Рассмотрим цепь из R и C, подключенную к источнику переменного тока (фиг. 13,*а*). Под действием переменного напряжения u в этой цепи проходит ток i (фиг. 13,*б*).

Проходя через активное сопротивление R, этот ток создает на нем падение напряжения u_R, которое совпадает по фазе с током i. Проходя же через конденсатор, ток создаст на нем падение напряжения u_C, которое отстает от него по фазе на четверть периода.



Фиг. 13. Цепь переменного тока с конденсатором и сопротивлением.

а — схема цепи; *б* — графики изменения напряжений и тока в цепи.

Для того чтобы по цепи мог проходить ток i, напряжение источника в любой момент должно уравновешивать оба этих напряжения, т. е. мгновенные значения напряжения u, действующего в цепи, в любой момент должны быть равны сумме u_R и u_C. Суммой этих двух синусоид является новая синусоида той же частоты, но сдвинутая относительно кривой тока на некоторый угол φ. Таким образом, ток i в цепи опережает напряжение u на некоторый угол φ, причем величина угла φ (сдвига фаз) будет тем большей, чем больше емкость C и чем меньше сопротивление R. При $R = 0$ $\varphi = 90°$, а при $C = 0$ $\varphi = 0$.

Если от мгновенных значений напряжений перейти к действующим, с которыми обычно приходится иметь дело при различных подсчетах по переменному току, то в данном случае напряжение источника оказывается равным не

арифметической сумме падений напряжения на активном сопротивлении и конденсаторе, а геометрической сумме:

$$U=\sqrt{U_R^2+U_C^2}.$$

Точно так же и общее сопротивление цепи подсчитывается не как арифметическая, а как геометрическая сумма входящих в цепь сопротивлений — активного и емкостного:

$$Z=\sqrt{R^2+X_C^2}.$$

Ток в такой цепи определяется по закону Ома

$$I=\frac{U}{Z}.$$

Падение напряжения на активном сопротивлении будет:

$$U_R=I\cdot R,$$

а на конденсаторе

$$U_C=I\cdot X_C.$$

Мощность в цепи выделяется только на активном сопротивлении. Ее величина может быть подсчитана по одной из формул:

$$P=I\cdot U \text{ или } P=I^2\cdot R.$$

Для пояснения приведенных формул решим следующий пример.

Требуется подсчитать гадение напряжений на активном сопротивлении и конденсаторе, соединенных последовательно, если величина пергого составляет 2 530 *ом*, а емкость второго — 0,01 *мкф*. Источник имеет напряжение 3 *в* при частоте 10 000 *гц*.

Сначала найдем емкостное сопротивление конденсатора:

$$X_C=\frac{1}{6{,}28\cdot f\cdot C}=\frac{1}{1{,}28\cdot 10\,000\cdot 0{,}01\cdot 10^{-6}}\approx 1\,600 \text{ ом}.$$

Тогда общее сопротивление цепи будет равно:

$$Z=\sqrt{2\,530^2+1\,600^2}\approx 3\,000 \text{ ом}.$$

Ток в цепи

$$I=\frac{3}{3\,000}=0{,}001 \text{ а}.$$

Падение напряжения на активном сопротивлении

$$U_R=0{,}001\cdot 2\,530=2{,}53 \text{ в}.$$

Падение напряжения на конденсаторе

$$U_C=0{,}001\cdot 1\,600=1{,}6 \text{ в}.$$

Проверим, чему равно общее падение напряжения в обоих элементах цепи:

$$U = \sqrt{2{,}53^2 + 1{,}6^2} = 3 \ \textit{в},$$

т. е. равно напряжению источника тока.

Мощность, затрачиваемая источником, расходуется только на активном сопротивлении, так как конденсатор практически мощности не потребляет.

$$P = 0{,}001 \cdot 2{,}53 = 0{,}00253 \ \textit{вт}, \text{ или } 2{,}53 \ \textit{мвт}.$$

Мощность можно подсчитать и по формуле

$P = 0{,}001^2 \cdot 2\,530 = 0{,}00253$ *вт* $= 2{,}53$ *мвт*, которая дает тот же результат.

Если необходимо определить общее сопротивление последовательной цепи, составленной из нескольких сопротивлений и конденсаторов, то надо предварительно сложить отдельно все активные и все емкостные сопротивления и полученные значения подставить в вышеприведенную формулу для подсчета.

Если источник тока дает пульсирующее напряжение, то по цепи последовательно соединенных сопротивления и конденсатора проходит только переменный ток, созданный переменной составляющей пульсирующего напряжения. Этот переменный ток создает на активном сопротивлении и конденсаторе падения переменных напряжений. Постоянная же составляющая пульсирующего напряжения создает лишь первоначальный заряд конденсатора, который под действием переменного напряжения периодически то увеличивается, то уменьшается. Ток в цепи опережает составляющую переменного напряжения на некоторый угол, находящийся в пределах от 0 до 90°.

Поясним это на примере.

Допустим, что источник пульсирующего тока дает напряжение, изменяющееся с частотой 10 000 *гц* от 39 до 81 *в*. Цепь состоит, как и в предыдущем примере, из активного сопротивления 2 530 *ом* и конденсатора 0,01 *мкф*.

Определим постоянную и переменную составляющие напряжения источника.

Постоянная составляющая, т. е. среднее напряжение равно полусумме минимального и максимального напряжений:

$$U_0 = \frac{39 + 81}{2} = 60 \ \textit{в}.$$

Амплитуда переменной составляющей определится как разность между максимальным напряжением и постоянной составляющей:

$$U_m = 81 - 60 = 21 \ \textit{в}.$$

Определим действующее значение переменной составляющей напряжения·

$$U = \frac{U_m}{1{,}41} = \frac{21}{1{,}41} \approx 15 \text{ в.}$$

Общее сопротивление такой последовательной цепи было уже подсчитано ранее (в предыдущем примере); оно составляет: $Z = 3\,000$ *ом*. При этом ток в цепи

$$I = \frac{U}{Z} = \frac{15}{3\,000} = 0{,}005 \text{ а}$$

и переменное падение напряжения на активном сопротивлении

$$U_R = I \cdot R = 0{,}005 \cdot 2\,530 = 12{,}65 \text{ в.}$$

На конденсаторе получается переменное падение напряжения

$$U_C = 0{,}005 \cdot 1\,600 = 8 \text{ в,}$$

чему соответствует амплитудное значение

$$U_{m.C} = 8 \cdot 1{,}41 \approx 11{,}3 \text{ в.}$$

Так как на конденсаторе, кроме того, будет находиться заряд, созданный постоянной составляющей пульсирующего напряжения, то напряжение на нем будет периодически меняться от $60 - 11{,}3 = 48{,}7$ *в* до $60 + 11{,}3 = 71{,}3$ *в* с частотой 10 000 *гц*.

Для подсчета мощности, выделяемой на активном сопротивлении, следует действующее значение проходящего через него тока умножить на падающее на нем напряжение (тоже действующее значени), т. е.

$$P = I \cdot U_R = 0{,}005 \cdot 12{,}65 \approx 0{,}06 \text{ вт.}$$

Свойство конденсатора «пропускать» переменную составляющую и «задерживать» постоянную составляющую весьма часто используется в различных участках радиосхем, когда из пульсирующего напряжения требуется выделить переменное напряжение.

Параллельное соединение сопротивления и конденсатора. Рассмотрим схему параллельного соединения сопротивления R и конденсатора C (фиг. 14). При питании такой цепи от источника постоянного тока через ветвь с сопротивлением R проходит постоянный ток, величина которого определяется законом Ома, т. е. $I = \frac{U}{R}$. Что же касается конденсатора, то последний при включении цепи почти мгновенно зарядится до напряжения источника тока, а затем через него ток проходить не будет. Таким образом, в этом случае как для источника, так и для распределения токов в цепи наличие конденсатора никакой роли не играет и цепь

можно рассматривать как состоящую только из сопротивления.

При питании цепи от источника переменного напряжения по ее обеим ветвям проходят токи. Так как оба элемента схемы соединены параллельно, то на активном сопротивлении и на обкладках конденсатора действует одно и то же переменное напряжение (фиг. 14). Обе цепи работают самостоятельно и независимо друг от друга. Поэтому, зная сопротивление каждой из ветвей, можно определить проходящие по ним токи.

По ветви с сопротивлением R проходит ток

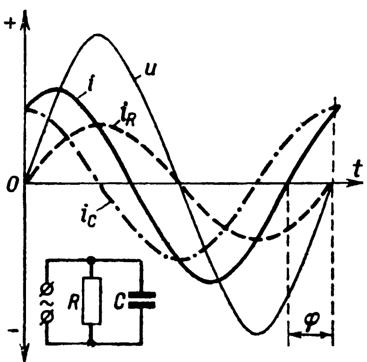
$$i_R = \frac{u}{R},$$

причем он совпадет по фазе с напряжением u источника тока (фиг. 14).

Ток в ветви с конденсатором C равен:

$$i_C = \frac{u}{X_C},$$

причем он опережает напряжение на 90° (фиг. 14).



Фиг. 14. Параллельное соединение сопротивления и конденсатора и графики токов и напряжения в цепи.

Для того чтобы по обеим ветвям проходили такие токи, источник должен отдавать в цепь ток, который в каждый момент был бы равен сумме их мгновенных значений. Просуммировав мгновенные значения токов в обеих ветвях, получим суммарный ток i, изменяющийся с той же частотой, как и напряжение источника тока, но опережающий его на некоторый угол φ. Последний может иметь величины от 0 до 90°. Чем больше емкость конденсатора C и больше сопротивление R, тем в большей степени сдвиг фаз, т. е. , приближается к 90° и наоборот.

Обычно подсчитывают общий ток в цепи, не по мгновенным значениям токов в ветвях, а по их действующим значениям. При этом их складывают не арифметически, а геометрически, т. е. общий ток

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}.$$

Общее сопротивление цепи с параллельно соединенными R и C может быть подсчитано по формуле

$$Z = \frac{R}{\sqrt{1 + 39,44 \cdot f^2 \cdot R^2 \cdot C^2}},$$

где Z и R — в *ом*; f — в *гц*; C — в *ф*.

Параллельное соединение активного сопротивления и емкости часто применяется в радиосхемах. Роль конденсатора обычно сводится к тому, чтобы шунтировать сопротивление R от переменных токов и доводить на нем до минимума падение напряжения от переменной составляющей, т. е. уменьшить пульсацию напряжения на сопротивлении. При этом по такой цепи пропускается чаще всего не чисто переменный, а пульсирующий ток.

Рассмотрим пример. Предположим, что в цепь из параллельно включенных R и C от источника поступает пульсирующий ток с постоянной составляющей $I_0 = 35$ *ма* $= 0,035$ *а* и переменной составляющей с амплитудой $I_m = 14$ *ма* $= 0,014$ *а*, т. е. изменяющийся от 21 до 49 *ма*. Частота переменной составляющей тока равна 100 *гц*. Сопротивление R равно 400 *ом*, а емкость конденсатора C — 50 *мкф*. Требуется определить токи в обеих ветвях цепи и действующее значение переменной составляющей падения напряжения на сопротивлении R.

Действующее значение переменной составляющей тока

$$I = \frac{I_m}{1,41} = \frac{0,014}{1,41} \approx 0,01 \text{ } a.$$

Если бы конденсатор C не был включен в цепь, то через сопротивление R проходил бы весь ток, причем его постоянная составляющая I_0 создавала падение напряжения $U_0 = 0,035 \cdot 400 = 14$ *в*, а действующее значение переменной составляющей падения напряжения было бы равно $U = 0,01 \cdot 400 = 4$ *в*.

При наличии конденсатора C положение изменяется. Постоянная составляющая тока проходит только по ветви с сопротивлением R и создает на нем постоянное падение напряжения 14 *в*, как это только что было подсчитано. Переменная же составляющая тока встретит на своем пути общее сопротивление разветвленной цепи, которое составит:

$$Z = \frac{400}{\sqrt{1 + 39,44 \cdot 100^2 \cdot 400^2 \cdot 50^2 \cdot 10^{-12}}} \approx 31,6 \text{ } ом.$$

Тогда действующее значение падения напряжения от переменной составляющей тока будет равно

$$U = 0,01 \cdot 31,6 = 0,316 \text{ } в,$$

т. е. в 12,7 раз меньше, чем при отсутствии конденсатора C.

Величины переменных составляющих токов в ветвях определяются по закону Ома. В ветви с сопротивлением R ток равен:

$$I_R = \frac{U}{R} = \frac{0,316}{400} \approx 0,79 \cdot 10^{-3}\ a = 0,79\ ма,$$

а в ветви с конденсатором C

$$I_C = \frac{U}{X_C}.$$

Так как емкостное сопротивление конденсатора C

$$X_C = \frac{1}{6,28 \cdot 100 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} \approx 31,8\ ом,$$

то ток

$$I_C = \frac{0,316}{31,8} \approx 9,95 \cdot 10^{-3}\ a = 9,95\ ма.$$

Не следует удивляться, что арифметическая сумма обоих токов превышает заданный суммарный ток переменной составляющей 10 *ма*. Напоминаем, что общий ток равен геометрической сумме токов в ветвях. Действительно,

$$I = \sqrt{0,79^2 + 9,95^2} = 10\ ма.$$

Из проведенного расчета видно, что основная часть переменной составляющей тока проходит через ветвь с конденсатором C, который представляет для нее значительно меньшее сопротивление, чем активное сопротивление. Благодаря наличию конденсатора пульсация напряжения на сопротивлении R уменьшается более чем в 12 раз.

В заключение примера подсчитаем мощность, которая рассеивается на сопротивлении R.

Так как по сопротивлению проходит пульсирующий ток, то для подсчета следует воспользоваться величиной постоянной составляющей тока $I_0 = 0,035\ a$. Мощность, рассеиваемая на сопротивлении, равна

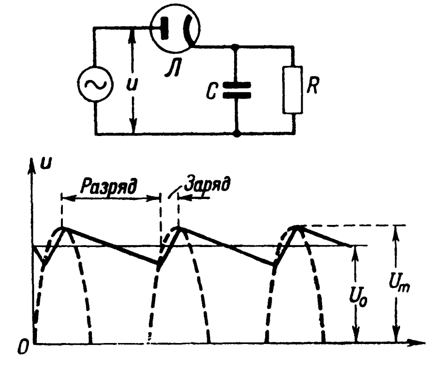
$$P = I_0^2 \cdot R = 0,035^2 \cdot 400 = 0,49\ вт.$$

В некоторых случаях конденсатор, параллельно соединенный с сопротивлением, может не только сглаживать пульсацию, но и значительно повышать постоянную составляющую пульсирующего напряжения. Это имеет место в тех местах схем, где есть участки цепи с односторонней проводимостью, например, при выпрямлении переменного тока, диодном детектировании и т. п. (фиг. 15).

В те полупериоды, когда ток проходит через лампу (диод) *Л* конденсатор C при нарастании напряжения источника быстро заряжается до его амплитудного значения. В другие полупериоды он медленно разряжается через сопротивление нагрузки R. Через лампу конденсатор разря-

жаться не может, так как она пропускает ток только в одном направлении.

Разряд происходит тем медленнее, чем больше постоянная времени RC. После небольшого понижения напряжения снова повторяется заряд конденсатора от следующего полупериода тока, проходящего по цепи, причем напряжение на конденсаторе вновь поднимается до амплитудного значения (фиг. 15). Таким образом, среднее напряжение U_0 на конденсаторе остается сравнительно высоким.



Фиг. 15. Параллельно соединенные конденсатор и сопротивление в цепи выпрямленного переменного тока и график изменения напряжения на конденсаторе.

КОНСТРУКЦИИ СОПРОТИВЛЕНИЙ И КОНДЕНСАТОРОВ

Сопротивления. Выше отмечалось, что в радиосхемах применяются проволочные и непроволочные сопротивления.

Конструкцию проволочного сопротивления стремятся выбрать такой, чтобы сопротивление обладало наименьшей индуктивностью и собственной емкостью.

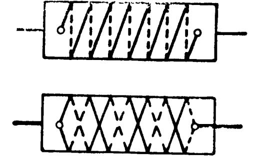
Для уменьшения собственной емкости стараются по возможности удалить друг от друга проводник (витки) сопротивления, напряжение между которыми велико.

Для уменьшения индуктивности сопротивлений их выполняют так, чтобы магнитные поля, создаваемые отдельными участками провода, не складывались, а взаимно уничтожались. Проволочные сопротивления, работающие на высоких частотах, никогда не наматываются как катушки индуктивности. В этих случаях иногда применяют бифилярную намотку, при которой изолированный провод складывается вдвое и в таком виде наматывается на каркас. В результате магнитные поля прямого и обратного проводов взаимно уничтожаются. Однако эта намотка обладает большой собственной емкостью, так как начало и конец провода, между которыми имеется сравнительно большое напряжение, расположены рядом.

Существуют способы намотки сопротивлений, позволяющие одновременно получить малую индуктивность и малую собственную емкость. Некоторые из них показаны на фиг. 16.

На низких частотах широко применяются так называемые остеклованные сопротивления. Такое сопротивление представляет собой керамический цилиндр, на который намотан провод с большим удельным сопротивлением, покрытый сверху для предохранения от повреждений специальной эмалью.

Для обеспечения малой зависимости активной составляющей сопротивления от частоты диаметр провода и его удельное сопротивление выбирают такими, чтобы поверхностный эффект сказывался мало, т. е. стараются брать провод малого диаметра и с большим удельным сопротивлением.



Фиг. 16. Пластинчатая намотка сопротивлений.

Обычное непроволочное сопротивление содержит фарфоровый цилиндрик, на поверхности которого нанесен слой углерода. Концы цилиндрика обжаты металлическими колпачками или кольцами. С помощью последних осуществляется подключение проводящего слоя сопротивления в цепь. В некоторых случаях для увеличения сопротивления проводящий слой выполняется спиральным.

Иногда применяются объемные сопротивления, изготовленные из специальной массы, содержащей глину, графит и сажу, и обожженные. Они могут иметь вид стержней, трубок и т. п. Величины сопротивлений обычно указываются на них с помощью цифр или специального цветного кода.

Достоинством непроволочных сопротивлений является то, что они обладают малыми габаритами и малыми величинами собственной емкости и индуктивности. Их недостаток заключается в том, что у них активная составляющая сопротивления сильно зависит от температуры и меняется со временем.

Проволочные и непроволочные сопротивления могут быть переменными.

Чем на бóльшую мощность рассеяния рассчитано сопротивление, тем больше должны быть его размеры. Значение мощности рассеяния, которую сопротивление может выдержать без повреждения, обычно указывается на нем.

Конденсаторы. Конденсаторы подразделяют по типу применяемых в них диэлектриков. Большое распространение получили следующие типы конденсаторов: воздушные, слюдяные, керамические, бумажные и электролитические.

Воздушные конденсаторы постоянной емкости применяются сравнительно редко из-за их громоздкости.

Слюдяные конденсаторы используются весьма широко. Потери в таких конденсаторах сравнительно малы, а их электрическая прочность и стабильность емкости высоки. Такой конденсатор содержит две группы плоских обкладок из свинцово-оловянной или медной фольги, изолированных друг от друга листочками слюды. Обычно слюдяной конденсатор заливается парафином или запрессовывается в пластмассу. Емкость слюдяных конденсаторов может быть от десятков пикофарад до нескольких микрофарад.

В настоящее время широко внедряются керамические конденсаторы. Диэлектриком у них служат специальные сорта керамики, обладающей большой диэлектрической проницаемостью и очень малыми потерями. Эти конденсаторы выполняются в виде цилиндров, дисков и т. п., на поверхности которых наносятся слои серебра, служащие обкладками и соединяющиеся с выводами конденсатора посредством пайки. Емкость керамических конденсаторов может быть от единиц до тысяч пикофарад.

Большое распространение получили бумажные конденсаторы. Их изготовляют свертыванием в рулон двух лент алюминиевой фольги, изолированных друг от друга слоями бумаги. К лентам бумаги прикрепляются выводы конденсатора. Рулон пропитывается каким-либо диэлектриком и помещается в герметическую коробку. Бумажные конденсаторы изготовляют с бóльшими емкостями, чем слюдяные и керамические. Потери в них сравнительно велики, а их электрическая прочность относительно низка.

Широко применяются также электролитические конденсаторы. Электролитический конденсатор изготовляют почти так же, как и бумажный. Разница состоит в том, что одна лента алюминиевой фольги перед намоткой покрывается пленкой окиси алюминия. Между лентами проложена фильтровальная бумага, пропитанная густым электролитом. Обе ленты свернуты в рулон и помещены в алюминиевый стаканчик. Диэлектриком в этом конденсаторе является пленка алюминия. Она обладает очень высокой электрической прочностью и вследствие этого может быть сделана весьма тон-

кой. Благодаря этому удается значительно увеличить емкость конденсатора.

Однако оксидная пленка обладает большой электрической прочностью лишь в одном направлении, т. е. тогда, когда «плюс» конденсатора подключен к «плюсу» источника тока и «минус» конденсатора (стаканчик) к «минусу» источника. Электролитические конденсаторы могут иметь емкость от десятых долей до тысяч микрофарад. К недостаткам этих конденсаторов следует отнести большой ток утечки (низкая изоляция), большие потери, нестабильность емкости и т. д.

Кроме рассмотренных выше конденсаторов постоянной емкости, в радиосхемах часто применяют конденсаторы переменной емкости. Последние преимущественно выполняются воздушными. Эти конденсаторы обычно являются основными деталями колебательных контуров.

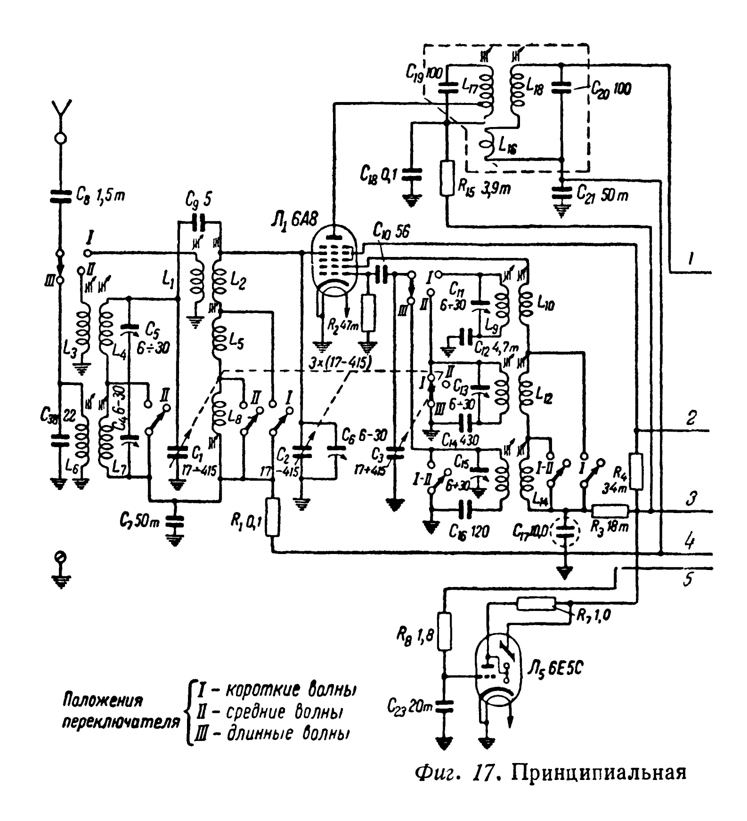
СОПРОТИВЛЕНИЯ И КОНДЕНСАТОРЫ В ЦЕПЯХ РАДИОПРИЕМНИКА

СХЕМА ПРИЕМНИКА

Выше отмечалось, что радиолюбителю-конструктору необходимо уметь производить выбор и подсчеты величин некоторых деталей радиосхемы. В радиоприемниках такими деталями, в первую очередь, являются сопротивления и конденсаторы. Так как рассмотреть все многообразие приемников не представляется возможным, рассмотрим лишь одну схему типового шестилампового радиоприемника и проследим режимы работы сопротивлений и конденсаторов в его наиболее важных цепях. После такого рассмотрения нетрудно будет разобраться и в подобных цепях других радиосхем.

Схема упомянутого радиоприемника приведена на фиг. 17. Это — шестиламповый супергетеродин с питанием от сети переменного тока. Он состоит из преобразователя частоты на лампе $Л_1$ типа 6А8, усилителя промежуточной частоты на лампе $Л_2$ типа 6К7, диодного детектора, автоматического регулятора усиления и предварительного усилителя низкой частоты на лампе $Л_3$ типа 6Г7, усилителя мощности на лампе $Л_4$ типа 6П6С, оптического индикатора настройки на лампе $Л_5$ типа 6Е5С и кенотронного выпрямителя с кенотроном $Л_6$ типа 5Ц4С.

Заметим, что подробное описание устройства и работы приемника не входит в наши задачи, и перейдем к рассмот-



Фиг. 17. Принципиальная

рению ряда конкретных цепей, содержащих сопротивления и конденсаторы.

НАПРЯЖЕНИЯ НА СЕТКАХ ЛАМП

Цепи экранных сеток. Три из всех изображенных на схеме ламп ($Л_1$, $Л_2$ и $Л_4$) имеют экранные сетки. На каждую из этих сеток от анодного источника тока подается некоторое положительное напряжение, меньшее, чем напряжение источника. Это, правда, не относится к выходной лампе $Л_4$, у которой напряжение на экранной сетке не отличается от напряжения анодного источника.

Обычно напряжение на экранную сетку подается от анодного источника через какое-либо сопротивление, на котором

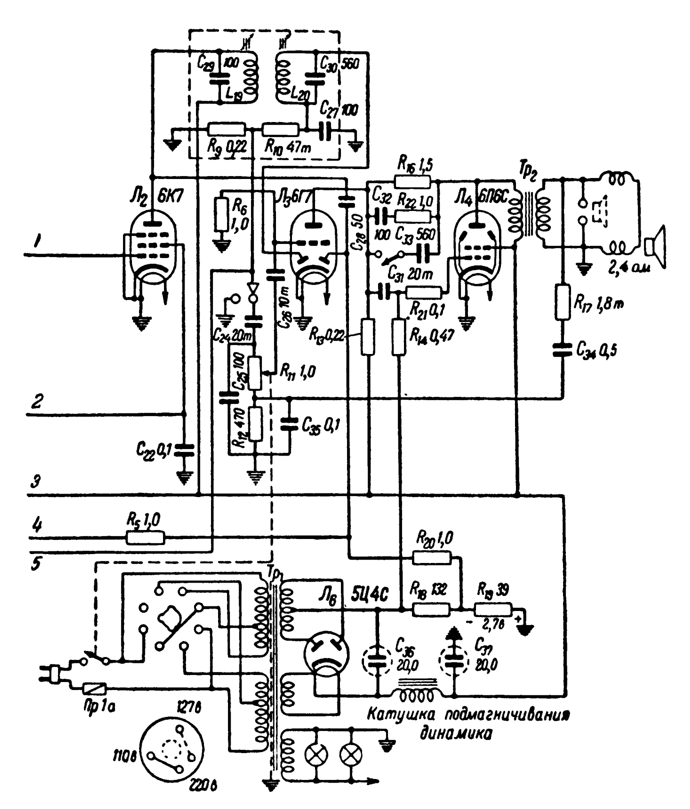


схема приемника.

часть анодного напряжения гасится. Для того же, чтобы отвести переменную составляющую, которая попадет в цепь, питающую экранную сетку, ее шунтируют на землю конденсатором постоянной емкости. При этом схема подачи напряжения на экранную сетку лампы имеет вид, показанный на фиг. 18.

Допустим, что в схеме фиг. 18 содержится лампа 6К7. Из справочных таблиц [1] можно узнать, что для обеспечения ее нормального рабочего режима при анодном напряжении 250 *в* напряжение на экранной сетке должно быть равно 100 *в*. При этом ток экранной сетки составляет 1,7 *ма* = 0,0017 *а*.

---

[1] См., например, «Справочная книжка радиолюбителя», стр. 46—47, Госэнергоиздат, 1951.

Для того чтобы подсчитать величину гасящего сопротивления, включенного в цепь экранной сетки, следует поступить следующим образом. Пусть известно, что напряжение $U_э$ на экранной сетке должно составлять 100 *в*. Предположим, что напряжение анодного источника равно 250 *в*. Следовательно, на гасящем сопротивлении $R_э$ в цепи этой сетки должно быть падение напряжения 250 — 100 = 150 *в*.

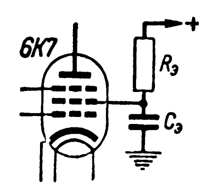
Так как ток $I_э$ экранной сетки известен, то величину сопротивления в ее цепи можно найти по формуле

$$R_э = \frac{U_э}{I_э}.$$

Для нашего случая

$$R_э = \frac{150}{0{,}0017} \approx 88\,000 \text{ ом.}$$

Остается еще подсчитать величину емкости шунтирующего конденсатора $C_э$. Задача этого конденсатора — отвести переменную составляющую тока с тем, чтобы она не проходила по гасящему сопротивлению и не создавала на нем падения переменного напряжения.



Фиг. 18. Подача напряжения на экранную сетку лампы.

Емкость шунтирующего конденсатора зависит как от величины шунтируемого сопротивления, так и от наинизшей частоты, усиливаемой данным каскадом усиления. Чем больше величина этого сопротивления и чем выше эта частота, тем меньшая нужна емкость. Как правило, величина емкостного сопротивления конденсатора $C_э$ должна быть в 5 — 10 раз меньше величины гасящего сопротивления $R_э$.

Точно величина емкости шунтирующего конденсатора подсчитывается с помощью довольно сложных расчетов[1]. Практически же радиолюбитель может обойтись и без них, если учтет следующие указания: в нормальном каскаде усиления низкой частоты емкость шунтирующего конденсатора должна быть порядка 0,5 *мкф*; если же шунтируется сопротивление в цепи пентода, находящегося в каскаде высокой или промежуточной частоты, то шунтирующая емкость берется порядка 0,01—0,1 *мкф*.

В приведенной на фиг. 17 схеме приемника для двух ламп $Л_1$ и $Л_2$ (6А8 и 6К7) применено одно общее сопротивление R_4. Назначение этого сопротивления такое же, как и сопротивления $R_э$ в схеме фиг. 18. Через это сопротивление проходит суммарный ток экранных сеток обеих

---

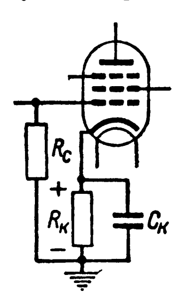
[1] См., например, А. Д. Фролов, „Справочник конструктора радиовещательных приемников", Госэнергоиздат", 1951.

ламп, который создает в нем необходимое падение напряжения. Расчет сопротивления R_4 ведется тем же способом, который приведен выше, но при этом берется суммарный ток экранных сеток обеих ламп. Сопротивление R_4 зашунтировано конденсатором C_{22} в 0,1 *мкф*.

Для примера определим падение напряжения на сопротивлении R_4. Ток экранной сетки лампы 6А8 составляет 2,7 *ма*, а лампы 6К7 — 1,7 *ма*. Следовательно, суммарный ток равен 4,4 *ма* = 0,0044 *а*. Так как сопротивление $R_4 = 34\,000$ *ом*, то падение напряжения на нем будет:

$$U = 0{,}004 \cdot 34\,000 = 136 \text{ в}.$$

Цепи смещения управляющих сеток. В некоторых радиосхемах для подачи отрицательного напряжения смещения в цепь сетки лампы включают специальную батарею. Такой способ неудобен и в настоящее время почти совершенно не применяется. В современных схемах необходимое отрицательное смещение на сетку лампы подается за счет падения напряжения на сопротивлении, которое специально для этой цели включается в тот или иной участок анодной цепи.



Фиг. 19. Подача напряжения смещения на управляющую сетку лампы с катодного сопротивления.

Наиболее простая схема подачи отрицательного напряжения по такому способу показана на фиг. 19. Между катодом лампы и корпусом приемника, который присоединен к минусовому зажиму анодного источника тока, включено сопротивление $R_к$, шунтированное конденсатором $C_к$. По этому сопротивлению проходит весь ток лампы, вернее его постоянная составляющая. Переменная же составляющая при достаточной величине емкости конденсатора $C_к$ проходит в основном через этот конденсатор. Роль конденсатора $C_к$ подробнее будет рассмотрена ниже.

Постоянная составляющая анодного тока лампы, проходя по сопротивлению $R_к$, создает на нем падение напряжения. Ток через лампу проходит в направлении от плюса к минусу. На верхнем (по схеме) конце сопротивления $R_к$ получается положительный потенциал (плюс), а на нижнем — отрицательный (минус). Так как верхний конец сопротивления $R_к$ присоединен к катоду лампы, а ниж-

ний — к корпусу приемника, то корпус приемника имеет отрицательный потенциал по отношению к катоду лампы. Ввиду того, что управляющая сетка лампы подключена к корпусу через сопротивление R_c, то и она будет иметь отрицательный потенциал, или, как говорят, отрицательное смещение по отношению к катоду. Величина отрицательного потенциала сетки по отношению к катоду лампы зависит исключительно от величины падения напряжения, которое получается на сопротивлении $R_к$ в цепи катода.

От правильного выбора отрицательного смещения на управляющей сетке лампы зависит режим работы любого усилительного каскада, безразлично — усиливает ли он низкую или высокую частоту. Поэтому при конструировании того или иного каскада особенно важно правильно выбрать катодное сопротивление.

Необходимая величина смещения на сетке обычно указывается в справочных таблицах для ламп. Там же указываются и токи, проходящие в различных цепях ламп. На основе этих данных и рассчитывают катодные сопротивления. При этих расчетах надо учитывать не только анодный ток лампы, но и токи всех ее сеток.

Для примера определим величину катодного сопротивления для лампы 6К7.

Из справочных таблиц узнаем, что при анодном напряжении 250 *в* и напряжении на экранной сетке лампы 100 *в* она должна работать при отрицательном напряжении на сетке 3 *в*. При этом анодный ток лампы составляет 7 *ма*, а ток экранной сетки равен 1,7 *ма*. Таким образом, суммарный ток, текущий в цепи катода, будет:

$$I_к = I_a + I_э = 7 + 1{,}7 = 8{,}7 \text{ ма, или } 0{,}0087 \text{ а.}$$

Для того чтобы подсчитать величину сопротивления $R_к$ в цепи катода, надо заданную величину отрицательного смещения на сетке U_c (или, что то же самое, величину падения напряжения на катодном сопротивлении) разделить на величину тока $I_к$, проходящего через это сопротивление, т. е.

$$R_к = \frac{U_c}{I_к} = \frac{3}{0{,}0037} = 346 \text{ ом.}$$

Сопротивление смещения обычно шунтируется конденсатором постоянной емкости. Делается это из следующих соображений. Как уже указывалось, на сопротивлении $R_к$ за счет прохождения через него постоянной составляющей анодного тока создается постоянное падение напряжения,

которое и является напряжением смещения, подаваемым на управляющую сетку лампы. Но кроме постоянной составляющей через это сопротивление проходит также и переменная составляющая анодного тока, которая создает на его концах переменное напряжение. Если не принять каких-либо специальных мер, то это переменное напряжение будет тоже подаваться на сетку лампы.

Нетрудно видеть, что это переменное напряжение будет находиться в обратной фазе с напряжением сигнала. Действительно, когда на сетку приходит положительная полуволна сигнала, то анодный ток лампы увеличивается, вследствие чего увеличивается падение напряжения на катодном сопротивлении, и на сетку с него подается увеличенное отрицательное смещение, которое уменьшает действующее значение напряжения сигнала. При отрицательной полуволне сигнала, наоборот, получается уменьшение смещения, что опять-таки приводит к тому же результату. Как в том, так и в другом случае получается ослабление сигнала или, вернее, уменьшение усиливающего действия лампы. Указанное явление носит название *отрицательной обратной связи.*

Для уменьшения нежелательной отрицательной обратной связи катодное сопротивление $R_к$ шунтируют конденсатором $C_к$. Емкость шунтирующего конденсатора выбирается такой, чтобы его реактивное сопротивление на наименьшей усиливаемой частоте было мало по сравнению с величиной сопротивления $R_к$. В каскадах усиления высокой и промежуточной частоты для этой цели вполне достаточным является конденсатор в 0,005—0,01 *мкф.* Для шунтирования катодных сопротивлений каскадов предварительного усиления низкой частоты берут конденсаторы емкостью порядка 2—10 *мкф*, а для оконечных каскадов — конденсаторы бóльшей емкости — порядка 25—50 *мкф.*

При выборе конденсаторов для каскадов усиления низкой частоты необходимо учитывать следующее. Так как реактивное сопротивление конденсатора обратно пропорционально частоте, то при достаточно больших емкостях отрицательная обратная связь на высших и средних частотах звукового диапазона сказываться совершенно не будет. Но для наиболее низких частот звукового диапазона трудно подобрать конденсатор с очень малой величиной реактивного сопротивления, и поэтому ослабляющее действие обратной связи на этих частотах в какой-то мере проявляется, что приводит к некоторому искажению частотной характеристи-

ки. Очевидно, что чем больше емкость шунтирующего конденсатора, тем меньше завал частотной характеристики на низших частотах.

В низкочастотных каскадах усиления применяются в основном электролитические конденсаторы, обладающие большими емкостями, а в каскадах усиления высокой и промежуточной частоты — слюдяные или бумажные.

В многоламповых приемниках система подачи отрицательного смещения для каждой лампы в отдельности оказывается не вполне удобной, так как требует большого количества деталей. Поэтому часто, особенно в приемниках заводского выпуска, применяется подача смещения на сетки ламп от одного общего смещающего сопротивления. Такой способ применен в приемнике, схема которого была приведена на фиг. 17.

Рассмотрим этот способ подачи смещения. Для этого выделим из общей схемы фиг. 17 интересующие нас цепи и откинем все дополнительные элементы схемы. При этом получится схема, показанная на фиг. 20. Условимся считать, что для лампы $Л_4$ необходимо отрицательное напряжение смещения — U_1, а для ламп $Л_1$ и $Л_2$ — U_2.

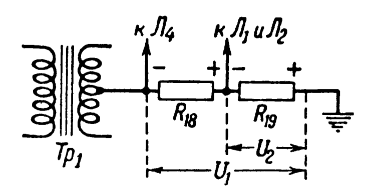
Как видно из приведенной упрощенной схемы, между средней точкой повышающей обмотки трансформатора $Тр_1$ выпрямителя и корпусом приемника, являющимся «землей», включены сопротивления R_{18} и R_{19}. Ответвление от средней точки повышающей обмотки трансформатора и сопротивления R_{18} подключено через сопротивления R_{14} и R_{21} к управляющей сетке лампы $Л_4$, а ответвление между сопротивлениями R_{18} и R_{19} присоединено через сопротивления R_{20}, R_5 и R_1 к управляющим сеткам ламп $Л_1$ и $Л_2$ (фиг. 17). Катоды всех этих ламп присоединены непосредственно к корпусу приемника, и в своих катодных цепях не имеют смещающих сопротивлений.

По той части цепи, которая находится между средней точкой повышающей обмотки силового трансформатора и точкой присоединения ее к корпусу приемника, проходит ток, равный сумме анодных токов всех ламп, входящих в схему приемника. Так как между указанными точками включены два сопротивления R_{18} и R_{19}, то проходящий через эти сопротивления ток создает на них некоторое падение напряжения. Падение напряжения на сопротивление R_{19} используется для подачи смещения на лампы $Л_1$ и $Л_2$, а на сопротивлениях R_{19} и R_{18} — на лампу $Л_4$.

Произведем расчет цепи смещения приемника, предполагая, что его лампы работают при анодном напряжении 250 *в*. Следует отметить, что при таком расчете необходимо учитывать все токи, проходящие через сопротивления R_{18} и R_{19}, т. е. анодные и сеточные токи всех ламп, и т. п.

Пользуясь справочными таблицами данных приемно-усилительных ламп, найдем следующие величины катодных токов: для лампы 6А8 — 10 *ма*, для 6К7 — 9 *ма*, для 6Г7 — 1 *ма* и для 6П6С — 49 *ма*. Суммарный ток составит: $I = 10 + 9 + 1 + 49 = 69$ *ма* $\approx 0{,}07$ *а*.

По тем же таблицам находим величину отрицательного напряжения смещения на сетку лампы $Л_4$. Для обеспечения нормального режима работы этой лампы между ее сеткой и катодом должно действовать напряжение смещения, равное 12 *в*. Сетка лампы $Л_4$ по отношению к катоду должна находиться под отрицательным потенциалом U_1, т. е. в точке ответвления к $Л_4$ должен быть „минус", а у места соединения цепи с корпусом, к которому присоединен катод лампы — „плюс" напряжения смещения U_1. В приведенной на фиг. 20 схеме это условие полностью соблюдается. Знаки напряжения на сопротивлениях R_{18} и R_{19} распределяются так, как это показано на участке схемы.



Фиг. 20. Общие сопротивления смещения в минусовой цепи анодного источника тока.

Лампа $Л_4$ получает отрицательное смещение, равное падению напряжения на сопротивлениях R_{18} и R_{19}. Зная необходимую величину напряжения смещения для этой лампы, подсчитаем необходимую общую величину сопротивления смещения:

$$R_{18} + R_{19} = \frac{U_1}{I}.$$

Как указывалось выше, отрицательное смещение U_1 на управляющую сетку лампы $Л_4$ типа 6П6С должно составлять 12 *в*, а суммарный ток I равен 0,07 *а*. Следовательно,

$$R_{18} + R_{19} = \frac{12}{0{,}07} \approx 171 \text{ ом}.$$

Из рассмотрения схемы фиг. 17 нетрудно убедиться, что сопротивления R_{18} и R_{19} образуют суммарное сопротивление $132 + 39 = 171$ *ом*, что точно соответствует результатам нашего расчета.

Остальные лампы приемника требуют значительно меньшего напряжения смещения. Обычно оно находится в пределах от 2,5 до 3 *в*. Подсчитаем, какова должна быть величина сопротивления для этих ламп.

Воспользовавшись приведенной выше формулой и задавшись величиной напряжения смещения $U_2 = 2{,}7$ *в*, получим:

$$R_{19} = \frac{U_2}{I} = \frac{2{,}7}{0{,}07} \approx 39 \text{ ом}.$$

Таким образом, для подачи смещения 12 *в* на лампу 6П6С необходимо иметь в схеме сопротивление в 171 *ом*, а для подачи смещения на остальные лампы нужно сопротивление 39 *ом*. Поэтому в схему и включены последовательно сопротивления $R_{18} = 132$ *ом* и $R_{19} = 39$ *ом*. Их общее сопротивление составляет 171 *ом*. Как уже отмечалось, падение напряжения на одном из них, т. е. на R_{19}, используется для подачи смещения на лампы $Л_1$ и $Л_2$, а падение напряжения на обоих сопротивлениях — на лампу $Л_4$.

ДЕЛИТЕЛЬ АНОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Для многих радиоприемников характерно наличие делителей напряжения, включаемых в цепь анодного источника тока для получения различных напряжений. Рассмотрим схему подобного делителя, приведенную на фиг. 21.

Фиг. 21. Распределение токов и напряжений в делителе анодного напряжения.

Допустим, что кроме общего напряжения U_0, которое дает источник анодного напряжения, необходимо иметь еще два пониженных напряжения U_1 и U_2, причем потребляемые при этих напряжениях токи соответственно будут I_1 и I_2. Делитель напряжения состоит из трех сопротивлений (R_1, R_2 и R_3), включенных между собой последовательно.

Так как делитель включен параллельно зажимам основного источника тока, то даже и при отсутствии нагрузки на ответвлениях через него проходит ток, который можно назвать током холостого хода. Этот ток

$$I_0 = \frac{U_0}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Если ток в ответвлениях делителя подвержен колебаниям, то для того чтобы напряжения на этих ответвлениях оставались практически постоянными, ток холостого хода должен быть в 5—10 раз больше суммарного тока $I = I_1 + I_2$. Исходя из этого условия, определяется суммарное сопротивление делителя.

Для подсчета величин отдельных сопротивлений, входящих в делитель, следует определить токи, которые проходят через каждое из них, и затем падения напряжения на этих

сопротивлениях разделить на соответствующие токи. Таким образом, величина сопротивления

$$R_1 = \frac{U_0 - U_1}{I_0 + I_1 + I_2},$$

сопротивления

$$R_2 = \frac{U_1 - U_2}{I_0 + I_2}$$

и сопротивления

$$R_3 = \frac{U_2}{I_0}.$$

Чтобы пояснить приведенные формулы, рассчитаем делитель напряжения, обеспечивающий получение от источника с напряжением $U_0 = 240$ *в* напряжения $U_1 = 180$ *в* при токе $I_1 = 2$ *ма* $= 0{,}002$ *а*, и напряжения $U_2 = 120$ *в* при токе $I_2 = 3$ *ма* $= 0{,}003$ *а*.

Возьмем ток холостого хода делителя в 5 раз бо́льшим, чем $I_1 + I_2$, т. е.

$$I_0 = 5\,(0{,}002 + 0{,}003) = 0{,}025\ a.$$

Тогда

$$R_1 = \frac{240 - 180}{0{,}025 + 0{,}002 + 0{,}003} = 2\,000\ \text{ом};$$

$$R_2 = \frac{180 - 120}{0{,}025 + 0{,}003} \approx 2\,140\ \text{ом};$$

$$R_3 = \frac{120}{0{,}025} = 4\,800\ \text{ом}.$$

Для того чтобы проверить, как такой делитель поддерживает постоянство напряжения на своих ответвлениях при изменениях нагрузок, предположим, что нагрузка на ответвлении U_1 увеличилась вдвое, т. е. ток в ее цепи увеличился до 4 *ма* $= 0{,}004$ *а*. Тогда ток, проходящий по сопротивлению R_1, будет равен $0{,}025 + 0{,}004 + 0{,}003 = 0{,}032$ *а*, а падение напряжения на нем составит $0{,}032 \cdot 2\,000 = 64$ *в*, т. е. только на 4 *в*, или на 6,7%, станет больше по сравнению с нормальным.

РАЗВЯЗЫВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Большую роль в нормальной работе приемника играют развязывающие фильтры из сопротивлений и конденсаторов.

Если в приемнике два или несколько каскадов работают на одинаковой частоте, причем во все эти каскады входит какая-нибудь общая цепь, то они могут оказаться связанными между собой через эту цепь. Вследствие этого может воз-

никнуть самопроизвольная генерация или другое нарушение работы приемника. Чаще всего такая связь возникает через общие источники питания.

Два таких каскада имеются и в приведенной на фиг. 17 схеме приемника. В анодной цепи $Л_1$, наряду с постоянной составляющей анодного тока, образуются колебания промежуточной частоты, которые через трансформатор промежуточной частоты $L_{17}L_{18}$ подаются на сетку лампы $Л_2$, усиливающей эти колебания. Усиленные колебания через трансформатор промежуточной частоты $L_{19}L_{20}$ попадают в цепь источника питания анодных цепей. А так как последний обладает некоторым сопротивлением и является элементом связи между обеими лампами, то часть усиленных колебаний промежуточной частоты попадает снова в анодную цепь лампы $Л_1$ и через обмотки $L_{17}L_{18}$ вновь попадает на сетку лампы $Л_2$. В результате может возникнуть паразитная генерация.

Однако такого явления в схеме фиг. 17 получиться не может, так как в анодной цепи лампы $Л_1$ имеется развязывающий фильтр, состоящий из сопротивления R_{15}, включенного последовательно, и конденсатора C_{18}, шунтирующего анодную цепь лампы на корпус. Составляющая анодного тока лампы $Л_1$, имеющая промежуточную частоту, благодаря наличию фильтра, пройдя через контур $L_{17}C_{19}$, пойдет на катод этой лампы более коротким путем, а именно через конденсатор C_{16}, а не через сопротивление R_{15}, так как реактивное сопротивление конденсатора для нее значительно меньше, чем активное сопротивление R_{15}. С другой стороны, колебания промежуточной частоты, усиленные лампой $Л_2$, пройдя элемент связи обоих каскадов (источник анодного тока), по пути в анодную цепь лампы $Л_1$ встретят довольно большое сопротивление R_{15}, которое значительно ослабит их. Та же часть колебаний промежуточной частоты, которая в ослабленном виде пройдет через это сопротивление, дальше пойдет на катод лампы через конденсатор C_{18}, так как его реактивное сопротивление во много раз меньше, чем сопротивление колебательного контура $L_{17}C_{19}$.

Основным показателем развязывающего фильтра, определяющим его качество, считают так называемый коэффициент фильтрации. Он показывает, во сколько раз ослабляется при его помощи то нежелательное напряжение, которое подводится ко входу фильтра со стороны источника тока по сравнению с тем, которое получается на его выходе. Чем

больше это число, т. е. коэффициент фильтрации, тем лучше фильтр защищает («развязывает») данный участок схемы. Развязывающий фильтр работает тем лучше, чем больше величины входящих в него емкости и сопротивления.

Коэффициент фильтрации

$$ф = \omega \cdot C \cdot R,$$

где ω — угловая частота, равная 6,28 f, а f — частота, *гц*;
C — емкость конденсатора, *мкф*;
R — сопротивление, *мгом*.

Произведение RC, стоящее в правой части равенства, представляет собой постоянную времени фильтра. Таким образом, фильтрующее действие развязывающего фильтра зависит от его постоянной времени и частоты колебаний, которые могут проходить через него.

Для того чтобы развязывающий фильтр работал хорошо, он должен иметь достаточно высокий коэффициент фильтрации в пределах от десятков до сотен единиц. Коэффициент фильтрации должен подсчитываться для наиболее низкой частоты, на которой работают данный каскад приемника или его цепь.

Для примера подсчитаем коэффициент фильтрации развязывающего фильтра нашего приемника (фиг. 17).

Данные фильтра: $R_{15} = 3\,900$ *ом* $= 0{,}0039$ *мгом*, $C_{18} = 0{,}1$ *мкф*, промежуточная частота $f = 465$ *кгц* $= 465\,000$ *кгц*, угловая частота $\omega = 6{,}28\ f = 6{,}28 \cdot 465\,000 = 2\,920\,200$.

Коэффициент фильтрации

$$ф = \omega \cdot C_{18} \cdot R_{15} = 2\,920\,200 \cdot 0{,}039 \cdot 0{,}1 \approx 1\,140.$$

Такой высокий коэффициент фильтрации обеспечивает вполне надежную работу усилителя промежуточной частоты.

При расчете фильтра по вышеприведенной формуле нужно учитывать и следующее обстоятельство. Дело в том, что сопротивление развязывающего фильтра обычно включается последовательно в анодную цепь лампы и через него проходит постоянная составляющего анодного тока лампы, которая создает на нем соответствующее падение напряжения. В результате напряжение, подаваемое в анодную цепь лампы, понижается. Поэтому требования, которые предъявляются к величине развязывающего сопротивления, оказываются противоречивыми: для того чтобы лампа работала более эффективно, надо, чтобы падение напряжения на развязывающем сопротивлении было мало, т. е. чтобы величина со-

противления была невелика, с другой стороны, фильтрующее («развязывающее») действие фильтра тем больше, чем больше величина развязывающего сопротивления.

В связи с этим при расчетах фильтров задаются допустимым падением напряжения на развязывающем сопротивлении, исходя из напряжения, необходимого для работы лампы, и из напряжения источника тока.

Допустим, что для каскада, работающего по схеме фиг. 17 на лампе 6А8, необходимо напряжение на аноде в 250 *в*, а источник анодного напряжения равен 275 *в*.

Тогда допустимое падение напряжения на развязывающем сопротивлении составит:

$$275 - 250 = 25 \text{ в}.$$

Через сопротивление фильтра проходит ток, состоящий из анодного тока и тока экранной сетки. По справочным таблицам находим, что этот общий ток равен 6 *ма* = 0,006 *а*.

Величина сопротивления развязывающего фильтра

$$R = \frac{U}{I} = \frac{25}{0{,}006} \approx 4\,170 \text{ ом}.$$

Эта величина мало отличается от той, которая указана на схеме фиг. 17 для сопротивления R_{15}.

Пользуясь приведенной выше формулой для коэффициента фильтрации, нетрудно определить емкость конденсатора фильтра. Для этого необходимо задаться определенным коэффициентом фильтрации и знать наиболее низкую частоту, подлежащую фильтрации.

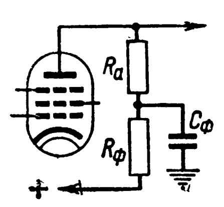
При расчете развязывающих фильтров для каскадов высокой или промежуточной частоты обычно задаются большими значениями коэффициента фильтрации (порядка нескольких сотен), так как даже для этих значений емкость конденсатора фильтра получается небольшой (от сотых до десятых долей микрофарады). В отношении стоимости, габаритов, удобства монтажа и т. п. разница между такими емкостями несущественна.

При расчете элементов развязывающего фильтра для каскадов усилителя звуковой частоты задаются значительно меньшими значениями коэффициента фильтрации, так как иначе емкость фильтра получается очень большой. Для фильтров усилителей с наинизшей частотой 50 *гц* коэффициент фильтрации берут в пределах 20—30. При этом если развязывающий фильтр устанавливается в каскаде, в котором в качестве анодной нагрузки используется активное со-

противление R_a (фиг. 22), величина развязывающего сопротивления $R_ф$ берется примерно в 5 раз меньше величины сопротивления нагрузки, если, конечно, на нем не получается большого падения анодного напряжения.

Развязывающие фильтры в усилителях звуковой частоты применяются только тогда, если в них имеются три или более каскада усиления. При двух каскадах они не нужны. При трех каскадах следует «развязывать» первый каскад, оставляя остальные без развязывающих фильтров.

Для примера рассчитаем элементы развязывающего фильтра для каскада усиления звуковой частоты на лампе 6Г7 (предполагая, что в схеме нашего приемника не два, а три каскада усиления звуковой частоты).



Фиг. 22. Схема развязывающего фильтра в анодной цепи лампы.

Анодная нагрузка R_{13} этого каскада (фиг. 17) составляет 0,22 *мгом*. Анодный ток при напряжении на аноде 100 *в* равен 0,35 *ма* = 0,00035 *а*. Коэффициент фильтрации выберем равным 25. Наинизшая частота фильтрации 50 *гц*, следовательно, угловая частота $\omega = 6{,}28 \cdot 50 = 314$. Примем величину развязывающего сопротивления $R_ф$ равной $0{,}2R_a$, т. е. $R_ф = 0{,}2 \cdot 0{,}22 = 0{,}044$ *мгом*.

Определим необходимую величину развязывающей емкости

$$C_ф = \frac{ф}{\omega \cdot R} = \frac{25}{314 \cdot 0{,}044} = 1{,}81 \approx 2 \text{ мкф}.$$

Напомним, что в данном подсчете сопротивления должны быть выражены в мегомах, а емкости в микрофарадах.

Проверим, не слишком ли большое напряжение U падает на развязывающем сопротивлении $R_ф$. Для этого величину сопротивления развязки умножим на величину проходящего через него тока:

$$U = 44\,000 \cdot 0{,}00035 = 15{,}4 \text{ в}.$$

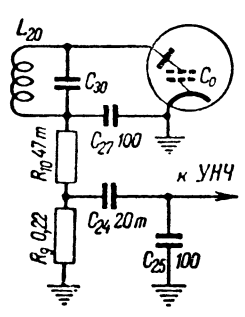
Такое падение напряжения можно считать допустимым.

ДЕТЕКТОРНЫЙ КАСКАД

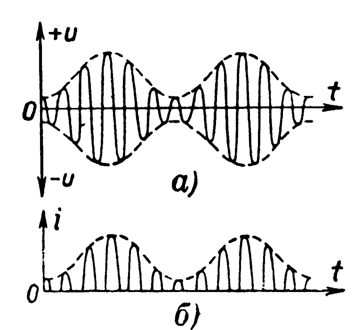
В приемнике (фиг. 17) применено диодное детектирование, осуществляемое левым (по схеме) диодом лампы 6Г7. Основные цепи детекторного каскада, выделенные из общей схемы приемника, показаны на фиг. 23. Модулированное напряжение промежуточной частоты (фиг. 24,*а*) с контура $L_{20}C_{30}$ трансформатора промежуточной частоты поступает в цепь, составленную из промежутка катод — анод левого диода 6Г7 и сопротивлений R_9 и R_{10}. В результате детектирующего действия диода по этой цепи проходит пульсирую-

щий ток i, графически изображенный штриховой линией на фиг. 24,*б*.

Результатом детектирования должно быть выделение из промежуточной частоты модулирующего сигнала звуковой частоты и полное удаление промежуточной частоты. Однако, как видно из приведенного графика, по цепи проходит также переменная составляющая промежуточной частоты. Для того чтобы ее отфильтровать и получить на нагрузочном со-



Фиг. 23. Схема детекторного каскада.



Фиг. 24. Графики изменения напряжения подводимого к детектору (*а*) и тока в его нагрузке (*б*).

противлении переменный ток только звуковой частоты, сопротивление нагрузки детектора шунтируется конденсатором C_{27} небольшой емкости.

Чем больше величина этой емкости, тем лучше сказывается ее шунтирующее действие. Однако слишком большую емкость конденсатора C_{27} брать нельзя, так как конденсатор большой емкости оказывает небольшое сопротивление для наиболее высоких частот звукового диапазона и поэтому он будет заметно шунтировать на этих частотах нагрузочное сопротивление детектора, что приведет к частотным искажениям (завалу частотной характеристики в области наиболее высоких звуковых частот).

Вместе с тем нужно учесть и следующее обстоятельство. Между катодом и анодом диода действует некоторая междуэлектродная емкость C_0. Она оказывается соединенной последовательно с шунтирующим конденсатором C_{27}. Получается емкостный делитель напряжения, на котором поступающее на вход детектора напряжение сигнала разделится обратно пропорционально величинам этих емкостей.

Если емкость C_{27} мала по сравнению с междуэлектродной емкостью диода C_0, то напряжение высокой частоты на диоде также будет мало, вследствие чего на нагрузке получится малое напряжение звуковой частоты.

Практически оказывается полезным так выбирать величину емкости шунтирующего конденсатора C_{27}, чтобы она была в 10—20 раз больше междуэлектродной емкости диода. Междуэлектродная емкость применяемых обычно диодов бывает порядка 5 *пф*. Следовательно, величина конденсатора C_{27} должна быть порядка 50—100 *пф*. Такая емкость для токов даже самой высокой звуковой частоты представляет достаточно большое сопротивление и поэтому заметного шунтирующего действия на нагрузку детектора не оказывает.

Следует отметить, что конденсатор C_{27} служит не только для шунтирования высокочастотной составляющей продетектированного сигнала. Он также сглаживает пульсации выпрямленного тока и повышает его напряжение. Получается это вследствие того, что конденсатор оказывается присоединенным параллельно нагрузке детектора, т. е. параллельно сопротивлениям R_9R_{10}. Когда при положительной полуволне сигнала диод свободно пропускает через себя ток, конденсатор быстро заряжается до амплитудного значения напряжения, а затем при отрицательной полуволне сигнала медленно разряжается через параллельно присоединенное к нему сопротивление нагрузки. Через диод конденсатор разряжаться не может, так как диод обладает односторонней проводимостью. Благодаря этому напряжение не успевает падать так быстро, как при отсутствии конденсатора. После небольшого понижения напряжения на конденсаторе снова повторяется его заряд и напряжение на нем вновь поднимается до амплитудного значения. При этом, чем больше нагрузочное сопротивление, тем меньше ток разряда конденсатора и тем медленнее спадает на нем напряжение. Поэтому постоянная времени цепочки, составленной из конденсатора C_{27} и сопротивлений R_9R_{10}, должна быть значительно больше (в 10—15 раз) по сравнению с продолжительностью периода детектируемой частоты.

Необходимо также учесть, что нагрузочное сопротивление детектора должно быть достаточно большим и для того, чтобы на нем получалось возможно большее переменное напряжение звуковой частоты. Для этой цели величину сопротивления нагрузки выбирают так, чтобы она была в 10—

20 раз больше, чем сопротивление, которое оказывает диод токам звуковой частоты. Практически величину нагрузочного сопротивления берут в пределах 0,2—0,5 *мгом*.

Получившееся напряжение звуковой частоты снимается не со всего сопротивления нагрузки, а с его части. Для этой цели нагрузку составляют из двух сопротивлений (в нашем случае R_9 и R_{10}). Напряжение звуковой частоты снимается с сопротивления R_9 и подается на каскад предварительного усиления звуковой частоты (триодная часть лампы 6Г7) через конденсатор C_{24}, который служит для защиты управляющей сетки лампы от попадания на нее постоянного напряжения, возникающего на сопротивлении R_9 при наличии несущей частоты сигнала.

Что же касается сопротивления R_{10}, то оно совместно с последовательно включенными конденсаторами C_{24} и C_{25} образует дополнительный развязывающий фильтр, защищающий основное сопротивление нагрузки R_9 от проникновения в него токов высокой частоты. Величина сопротивления R_{10} берется примерно равной 0,2 от величины основного сопротивления нагрузки. В схеме нашего приемника величина R_9 составляет 220 000 *ом*, а R_{10} — 47 000 *ом*.

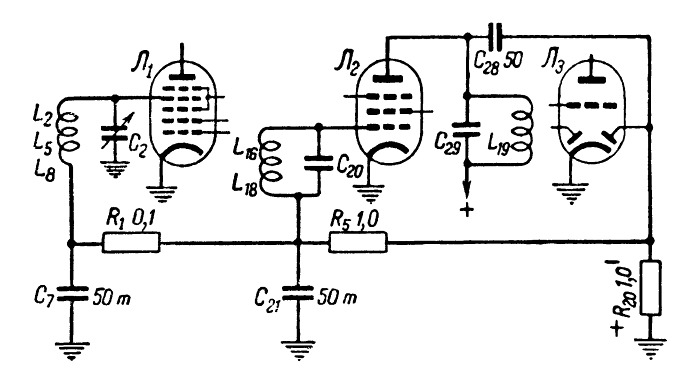
Так как конденсатор C_{24} в основном служит для связи с каскадом предварительного усиления звуковой частоты и должен для токов звуковой частоты оказывать незначительное сопротивление, то его величина обычно выбирается в пределах от 10 000 *пф* до 0,1 *мкф*. Назначение конденсатора C_{25} то же, что и конденсатора C_{27}, поэтому величина его берется того же порядка.

ЦЕПЬ АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

В современных супергетеродинных приемниках детекторный каскад используется и для осуществления автоматической регулировки усиления сигнала на выходе приемника. Система автоматической регулировки усиления (АРУ) дает возможность поддерживать постоянным (в определенных пределах) уровень сигнала на выходе приемника даже в тех случаях, когда поступающие на вход приемника сигналы от разных станций в значительной мере отличаются между собой по силе. Кроме того, применение АРУ дает возможность выравнивать уровень сигнала на выходе приемника при колебаниях напряжения на его входе вследствие явления замирания и устранять тем самым перегрузку

каскадов приемника при слишком сильных сигналах, создающих искажения.

Действие системы АРУ основано на применении в каскадах усиления высокой и промежуточной частоты ламп с переменной крутизной характеристики. Схема составляется таким образом, что на управляющие сетки этих ламп, кроме нормального отрицательного напряжения сеточного смещения, подаваемого с катодных сопротивлений или с общего смещающего сопротивления, подается еще дополнительное отрицательное смещение, снимаемое с сопротивления на-



Фиг. 25. Схема цепи АРУ.

грузки в цепи диодного детектора. Это дополнительное напряжение зависит от силы принимаемого сигнала и будет тем больше, чем сильнее сигнал. Получаемое вследствие этого увеличение отрицательного смещения на управляющих сетках ламп приводит к тому, что рабочие точки на их характеристиках перемещаются на участки с меньшей крутизной и коэффициент усиления понижается. Благодаря такому действию регулирующей системы при возрастании на входе приемника силы сигнала усиление приемника соответственно снижается настолько, что уровень сигнала на выходе остается почти неизменным. Обычно для АРУ используется второй диод детекторной лампы.

Для рассмотрения цепей АРУ и выяснения роли содержащихся в них сопротивлений и конденсаторов выделим из общей схемы приемника (фиг. 17) соответствующие цепи, относящиеся только к системе АРУ. Схема этих цепей в упрощенном виде приведена на фиг. 25.

Обычно второй диод лампы $Л_3$ присоединяется к первому контуру $L_{19}\,C_{29}$ выходного трансформатора промежуточной частоты. Можно подавать напряжение сигнала на этот диод и со второго контура трансформатора промежуточной частоты. Однако в этом случае входные сопротивления обоих диодов шунтировали бы один и тот же контур, что привело бы к значительному неравенству затуханий контуров. Кроме того, через конденсатор C_{28}, который оказался бы включенным между анодами обоих диодов, из детектора автоматической регулировки проникали бы в детектор основного канала высшие гармоники искаженных низкочастотных колебаний, которые вносили бы дополнительные нелинейные искажения.

В рассматриваемом регуляторе применена так называемая схема параллельного детектирования, при которой параллельно диоду АРУ присоединено нагрузочное сопротивление R_{20}. Этот диод соединяется с первым контуром $L_{19}C_{29}$ через конденсатор постоянной емкости C_{28}. При положительной полуволне сигнала, т. е. когда на аноде диода получается положительный потенциал, ток свободно проходит через диод. Но так как его внутреннее сопротивление значительно меньше, чем реактивное сопротивление конденсатора C_{28}, то на последнем получается основное падение напряжения. При отрицательной же полуволне сигнала, когда анод оказывается под отрицательным потенциалом, диод запирается и для тока остается только один путь — через конденсатор C_{28} и сопротивление нагрузки R_{20}. Величина этого сопротивления выбирается так, чтобы оно было значительно больше реактивного сопротивления конденсатора C_{28}. Благодаря этому основная часть напряжения сигнала падает именно на этом сопротивлении. Таким образом, на нагрузочном сопротивлении выделяется постоянная составляющая промежуточной частоты и модулировавшая ее составляющая звуковой частоты.

Исходя из указанных выше соображений, величина емкости конденсатора C_{28} берется порядка 50—100 *пф*, а сопротивления порядка 1 *мгом*. При этом конденсатор должен обладать весьма хорошей изоляцией (сопротивлением не менее 1 000 *мгом*).

Получающееся на сопротивлении R_{20} падение напряжения пропорционально амплитуде несущей частоты, т. е. силе приходящего сигнала. Так как на управляющие сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$ должно быть подано отрицательное смещение, то

сеточные цепи этих ламп присоединяются к верхнему (по схеме) концу сопротивления R_{20}, на котором получается отрицательный потенциал по отношению к «земле».

Но на управляющие сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$ необходимо подавать лишь постоянную составляющую напряжения, освобожденную от всех переменных напряжений, получающихся на нагрузочном сопротивлении R_{20}. Для этой цели служит фильтр, составленный из сопротивления R_5 и конденсатора C_{21}. Чем больше его постоянная времени, тем более полно отфильтровываются все переменные напряжения. Однако слишком большую постоянную времени выбирать не следует, так как при этом напряжение на выходе фильтра не успевает за колебаниями несущей частоты сигнала, что особенно сильно проявляется при замираниях (при приеме коротких волн). В радиовещательных приемниках постоянную времени этой цепи берут в пределах от 0,05 до 0,2 сек. Практически величину сопротивления R_5 обычно берут порядка 1 *мгом*, а емкость конденсатора C_{21} порядка 50 000—100 000 *пф*.

Если цепь АРУ, как это обычно и бывает, питает не одну, а несколько регулируемых ламп, то для устранения паразитной связи между отдельными каскадами через цепи АРУ в цепь управляющей сетки каждой лампы включают дополнительно по развязывающему фильтру. В нашей схеме таким дополнительным фильтром является сочетание из сопротивления R_1 и конденсатора C_7. Постоянная времени этого фильтра может быть взята значительно меньшей величины — порядка 0,005—0,02 сек. Практически сопротивление R_1 выбирается около 0,1 *мгом*, а емкость конденсатора C_7 — порядка 50 000—100 000 *пф*.

В приведенной упрощенной схеме мы предполагали, что основное напряжение смещения на управляющие сетки ламп $Л_1$ и $Л_2$ уже подано каким-то путем, хотя для упрощения схемы источник этого напряжения не показан. В схеме приемника подача этого напряжения осуществляется за счет того, что нижний (по схеме) конец сопротивления нагрузки R_{20} диода не заземляется, как это показано на фиг. 25, а присоединяется к общему смещающему сопротивлению R_{19} (фиг. 17). На этом сопротивлении получается падение напряжения 2,7 *в* и отрицательное смещение, равное этому напряжению, подается на сетку лампы $Л_1$ через сопротивления $R_{20}R_5R_1$ и катушки $L_8L_5L_2$, а на сетку лампы $Л_2$ — через сопротивления R_{20} R_5 и катушки L_{16} L_{18}.

Кроме подачи основного напряжения смещения на сетки управляемых ламп, присоединение нижнего конца сопротивления R_{20} к общему смещающему сопротивлению R_{19} преследует еще другую цель. Дело в том, что рассмотренная нами упрощенная схема АРУ срабатывает при любом, даже очень слабом, сигнале и ослабляет его именно тогда, когда приемник должен развивать наибольшую чувствительность. Вследствие этого недостатка такую систему АРУ, называемую простой АРУ, почти не применяют. Обычно же применяется система АРУ с задержкой, которая начинает работать только тогда, когда сила принимаемых сигналов превышает некоторый определенный уровень. При более же слабых сигналах система АРУ автоматически выключается и не подает на сетки регулируемых ламп дополнительного отрицательного смещения. Для этого на анод диода, работающего в цепи АРУ, подается некоторое постоянное отрицательное напряжение. Такая подача отрицательного напряжения осуществляется благодаря тому, что сопротивление R_{20} присоединено к сопротивлению R_{19}. Так как катод лампы $Л_3$ через «землю» присоединен к тому концу сопротивления R_{19}, которое отмечено знаком «плюс», то другой его конец со знаком «минус» окажется соединенным через сопротивление R_{20} с анодом диода, и последний имеет отрицательный потенциал по отношению к катоду, равный падению напряжения на смещающем сопротивлении, т. е. для нашего случая — 2,7 *в*.

Пока амплитуда сигнала, подаваемого на анод диода, не превышает 2,7 *в*, диод АРУ заперт, ток через него не проходит и система АРУ не работает. Если же амплитуда сигнала превышает 2,7 *в*, то через диод проходит ток, который создает на нагрузочном сопротивлении R_{20} падение напряжения. Постоянная составляющая этого напряжения через фильтры R_5C_{21} и R_1C_7 подается на управляющие сетки регулируемых ламп и усиление соответствующих каскадов приемника уменьшается.

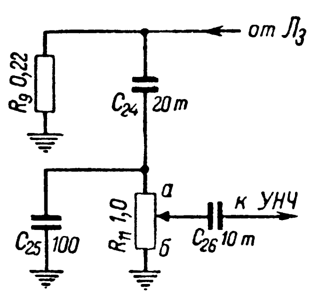
ЦЕПЬ РЕГУЛЯТОРА ГРОМКОСТИ

В радиовещательном приемнике имеется регулятор громкости, с помощью которого можно изменять уровень сигнала на выходе приемника.

Регулятор громкости в супергетеродинных приемниках, как правило, включается между детекторным каскадом и

усилителем звуковой частоты. Этот участок, выделенный из общей схемы приемника (фиг. 17), приведен на фиг. 26.

Выше упоминалось, что на нагрузочном сопротивлении R_9 диодного детектора в результате детектирования принимаемого сигнала получается падение напряжения, содержащего постоянную составляющую и переменную составляющую звуковой частоты. Последняя отделяется от постоянной составляющей и подается на вход усилителя низкой частоты. Для этой цели параллельно нагрузочному сопротивлению включается цепь из конденсатора C_{24} и потенциометра R_{11}. Правда, в схеме приемника (фиг. 17) последовательно с потенциометром R_{11} включено еще сопротивление R_{12}, но величина его значительно меньше, чем R_{11}, и оно играет вспомогательную роль, вследствие чего наличием его в схеме можно пока пренебречь.



Фиг. 26. Схема включения регулятора громкости.

Так как упомянутая цепь шунтирует нагрузочное сопротивление R_9, то для того, чтобы ее шунтирующее действие не сказывалось заметно на режиме работы диодного детектора, сопротивление этой цепи должно быть достаточно велико по сравнению с нагрузочным сопротивлением. Вследствие того, что основная величина сопротивления всей цепи создается сопротивлением R_{11}, величина последнего берется примерно в 5 раз большей, чем величина сопротивления R_9.

Назначение конденсатора C_{24} — не пропускать постоянную составляющую напряжения и свободно пропускать токи звуковой частоты. Для того чтобы частотная характеристика усилителя низкой частоты не имела завала на наиболее низких частотах звукового диапазона, емкость этого конденсатора должна быть достаточно большой, так как чем больше емкость конденсатора, тем меньше его сопротивление для токов звуковой частоты. Однако брать эту емкость большей, чем 20 000 *пф*, не имеет особого смысла, так как дальнейшее увеличение емкости практически не улучшает частотную характеристику в области низших частот звукового диапазона.

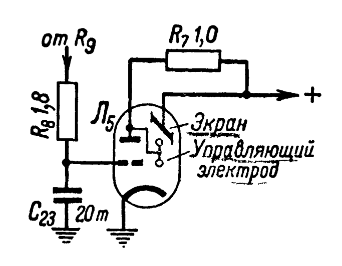
Роль конденсатора C_{25} была отмечена выше. Его назначение — отводить проникшие в цепь потенциометра R_{11} вы-

сокочастотные токи и не пропускать их на вход усилителя низкой частоты.

Регулировка громкости производится путем изменения положения движка потенциометра R_{11}. Этот движок через конденсатор C_{26} соединен с управляющей сеткой лампы первого каскада усиления звуковой частоты. При установке движка в положение *а* (фиг. 26) на сетку этой лампы подается наибольшее звуковое напряжение, а при передвижении этого движка к точке *б* напряжение звуковой частоты, снимаемое с потенциометра R_{11}, уменьшается и соответственно с этим уменьшается уровень сигнала на выходе приемника.

ОПТИЧЕСКИЙ ИНДИКАТОР НАСТРОЙКИ

В современных супергетеродинных приемниках для облегчения процесса настройки на принимаемую станцию применяется оптический индикатор настройки. Он представляет собой сочетание триода и электронно-лучевой трубки. На экране индикатора обычно имеется тень, имеющая форму сектора. Чем сильнее принимаемый сигнал или чем точнее настроены контуры приемника на частоту принимаемой радиостанции, тем больше этот сектор сужается. При сильном сигнале теневой сектор исчезает и его светящиеся границы сходятся между собой.



Фиг. 27. Схема включения оптического индикатора настройки.

Рассмотрим цепи индикатора настройки, выделенные из общей схемы приемника и показанные на фиг. 27.

На управляющую сетку триода индикатора подается напряжение, снимаемое с нагрузочного сопротивления R_9 детектора. На анод этого триода через сопротивление R_7 поступает анодное напряжение. Сопротивление R_7 имеет очень большую величину (обычно 1 *мгом*).

Для того чтобы не создавать дополнительной нагрузки на детектор и подавать на сетку триода индикатора напряжение, освобожденное от переменной составляющей звуковой частоты, в цепь сетки триода включается фильтр из сопротивления R_8 и конденсатора C_{23}. Сопротивление R_8 бе-

рется порядка 1,5—2 *мгом*. Постоянная времени такого фильтра выбирается достаточно большой (порядка 0,02—0,08 сек.) с тем, чтобы напряжение даже наиболее низкой звуковой частоты с нагрузочного сопротивления детектора не попадало на сетку триода индикатора и не создавало бы мигания на его экране.

Когда сигнал отсутствует, напряжение на сетке триодной части индикатора равно нулю и через анодную цепь триода, а следовательно, и через находящееся в его цепи сопротивление проходит некоторый ток. Как бы мал этот ток ни был, он все же создает на сопротивлении R_7 некоторое падение напряжения, вследствие чего анод триода, а вместе с ним и управляющий электрод индикатора, получает меньшее положительное напряжение по сравнению с тем, которое подается на его экран.

Так как управляющий электрод оказывается под отрицательным потенциалом по отношению к экрану, то электрическое поле около управляющего электрода оказывает на электроны, летящие к экрану от катода, такое действие, что около управляющего электрода они искривляют свой путь и отталкиваются от него при своем полете к положительно заряженному экрану. В результате осветится не весь экран, а только часть его, т. е. на экране получается темный сектор.

Когда производится прием сигналов какой-либо станции, то на нагрузочном сопротивлении R_9 детектора получается некоторое напряжение, которое в сглаженном виде попадает на сетку триодной части индикатора в виде отрицательного напряжения. Появление отрицательного напряжения на сетке вызывает уменьшение тока в анодной цепи триода, а вместе с этим и уменьшение падения напряжения и на его анодном сопротивлении R_7. Вследствие этого потенциал управляющего электрода индикатора становится более положительным и приближается к потенциалу экрана индикатора. При этом электроны, летящие к экрану, искривляют свой путь уже в меньшей степени, вследствие чего темный сектор на экране сужается.

Если напряжение сигнала достаточно велико, то отрицательное напряжение на сетке триода индикатора может быть настолько велико, что эта часть лампы окажется запертой и ток по ее анодной цепи не пойдет. В этом случае падения напряжения на сопротивлении R_7 не будет и, следовательно, потенциал управляющего электрода станет если не равным, то весьма близким к потенциалу экрана. Поэто-

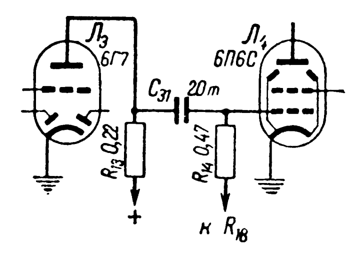
му электроны не будут отклоняться управляющим электродом и темный сектор на экране исчезнет.

При подаче на анод триодной части индикатора напряжения 250 *в* полное закрытие теневого сектора получается при отрицательном напряжении на сетке — 8 *в*, а при анодном напряжении 100 *в* — 3 *в*. Поэтому, если желательно увеличить «чувствительность» индикатора настройки, т. е. сделать так, чтобы он реагировал на более слабые принимаемые сигналы, надо уменьшить напряжение, которое подается на анод триодной части индикатора.

УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Основные цепи усилителя низкой частоты, выделенные из общей схемы приемника, показаны на фиг. 28.

Сопротивление R_{13} является анодной нагрузкой лампы 6Г7. Когда на управляющую сетку этой лампы подается напряжение звуковой частоты, через нагрузочное сопротивление R_{13} проходит пульсирующий анодный ток, состоящий из постоянной составляющей и переменной составляющей звуковой частоты.



Фиг. 28. Схема усилителя низкой частоты.

Переменное напряжение на нагрузочном сопротивлении R_{13} через разделительный конденсатор C_{31} подается на управляющую сетку лампы 6П6С. Непосредственно соединить анодную нагрузку R_{13} с сеткой лампы 6П6С нельзя, так как в этом случае на нее попадет «плюс» анодного напряжения, что совершенно недопустимо для нормальной работы лампы.

К управляющей сетке лампы 6П6С присоединено сопротивление R_{14}, которое иногда называют утечкой сетки. Другим концом оно присоединено к общему сопротивлению смещения R_{18}, которое для упрощения на схеме фиг. 28 не показано. Через это сопротивление на сетку лампы подается необходимое отрицательное смещение.

Величина сопротивления R_{13} зависит от параметров лампы. У триодов величина анодной нагрузки (сопротивление R_{13}) берется в 2—4 раза бо̀льшей, чем внутреннее сопротивление лампы. Величина же внутреннего сопротивле-

ния лампы определяется по справочным таблицам. У лампы 6Г7 внутреннее сопротивление составляет 60 000 *ом*, а сопротивление ее анодной нагрузки равно 0,22 *мгом*, или 220 000 *ом*, т. е. оно больше внутреннего сопротивления лампы в 3,7 раза.

В каскадах предварительного усиления низкой частоты используются и пентоды, у которых внутреннее сопротивление очень велико и составляет примерно около 1 *мгом*. Обычно нагрузочное сопротивление для пентодов берут в пределах от 0,1 до 0,15 от величины внутреннего сопротивления лампы. Практически оно берется от 50 000 до 250 000 *ом*.

Разделительный конденсатор C_{31} должен иметь достаточную емкость, чтобы хорошо пропускать токи звуковой частоты. Емкость этого конденсатора обычно берут в пределах от 10 000 *пф* до 0,1 *мкф*. Подбирая для усилителя разделительный конденсатор, следует обращать особое внимание на его качество. Он должен иметь весьма хорошую изоляцию, т. е. ее сопротивление должно быть большим. Следует учесть, что обычно сопротивление изоляции должно быть тем больше, чем меньше емкость конденсатора.

Чаще всего в качестве разделительных конденсаторов используют конденсаторы с бумажной изоляцией. Сопротивление изоляции таких конденсаторов постоянному току составляет примерно около 100 *мгом* на 1 *мкф*. Таким образом, конденсатор C_{31}, имеющий 20 000 *пф*, или 0,02 *мкф*, должен обладать сопротивлением изоляции не менее 5 000 *мгом*. Рабочее напряжение, на которое должен быть рассчитан разделительный конденсатор, должно быть не ниже 300—400 *в*.

Сеточное сопротивление R_{14} берется обычно в пределах от 0,1 до 2 *мгом*. Слишком малая величина этого сопротивления понижает усиление выходной лампы. С другой стороны, брать R_{14} больше 2 *мгом* нецелесообразно, так как при этом лампа начинает работать неустойчиво.

При подборе величин R_{13}, R_{14} и C_{31} нужно учитывать следующее.

1. Уменьшение величин R_{13} или R_{14} уменьшает частотные искажения в области высоких частот звукового диапазона.

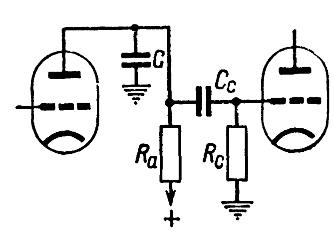
2. Увеличение величин R_{14} и C_{31} уменьшает частотные искажения в области низких частот звукового диапазона.

3. При выборе величин R_{14} и C_{31} необходимо принимать во внимание, что между ними имеется определенное соотно-

шение. Чем больше сопротивление R_{14}, тем меньше должна быть емкость C_{31}. Постоянная времени RC для этой цепи должна находиться в пределах от 0,01 до 0,025 сек. В приведенной схеме (фиг. 28) постоянная времени для этих элементов схемы составляет $0{,}47 \cdot 0{,}02 = 0{,}0094$ сек. $\approx 0{,}01$ сек.

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ ЦЕПИ

Тембр звучания радиовещательной передачи зависит главным образом от частотной характеристики усилителя низкой частоты приемника. Если усилитель подчеркивает низшие частоты, то звучание получается глуховатым и разборчивость речи уменьшается. Если же частотная характеристика имеет подъем в области высших частот, то передача приобретает металлический оттенок с резким выделением высоких тонов. Хотя при этом разборчивость речи и повышается, но вместе с тем прием отдаленных и слабых станций начинает заметно сопровождаться тресками и шумами от атмосферных и других помех, а при воспроизведении граммофонной записи сильно прослушивается шипение иглы.



Фиг. 29. Схема включения корректирующего конденсатора C для уменьшения усиления в области высоких звуковых частот.

Для выравнивания частотной характеристики и изменения по желанию тембра звучания применяются корректирующие цепи и регулятор тона, которые вводятся в низкочастотную часть приемника.

Существует много способов и схем регулирования тембра. Рассмотрим лишь наиболее простые и часто применяемые.

Для уменьшения усиления (срезания) высоких звуковых частот часто применяют шунтирование анодной нагрузки R_a конденсатором постоянной емкости C (фиг. 29). Емкость этого конденсатора подбирается так, чтобы на низких и средних частотах звукового диапазона его шунтирующее действие сказывалось незначительно, а проявлялось бы только на тех частотах, которые должны быть ослаблены.

Если известна величина анодной нагрузки R_a, то, задаваясь величиной ослабления и той частотой, на которой это

ослабление должно быть достигнуто, можно подсчитать необходимую для этого емкость конденсатора, пользуясь приводимой табл. 2.

Таблица 2

Величина ослабления			Отношение $\frac{R_a}{X_C}$
Для обычных триодов	Для триодов с большим μ	Для пентодов	
3,45	5,7	20,0	20,0
2,05	3,5	10,0	10,0
1,3	2,0	5,0	5,0
1,15	1,5	3,5	3,3
1,1	1,3	2,7	2,5
1,05	1,2	2,2	2,0
1,04	1,15	2,0	1,66
1,02	1,1	1,6	1,25
1,01	1,05	1,4	1,0

В последней графе табл. 2 приведены цифры, показывающие, во сколько раз емкостное сопротивление X_C конденсатора C при заданной частоте f должно быть меньше, чем активное сопротивление R_a нагрузки в анодной цепи лампы для получения необходимого ослабления.

Допустим, что в каскаде усиления низкой частоты работает лампа с большим μ (коэффициентом усиления), например, типа 6Г7 с анодной нагрузкой $R_a = 220\,000$ *ом*, и мы хотим ослабить усиление частоты 5 000 *гц* в 2 раза.

В табл. 2 находим (третья строка), что для этого случая надо взять конденсатор C, у которого емкостное сопротивление на частоте 5 000 *гц* в 5 раз меньше сопротивления нагрузки R_a, т. е.

$$X_C = \frac{R_a}{5} = \frac{220\,000}{5} = 44\,000 \text{ ом}.$$

Как известно, емкостное сопротивление конденсатора

$$X_C = \frac{1}{6{,}28 \cdot f \cdot C},$$

где f — частота, *гц*;
C — емкость, *ф*.

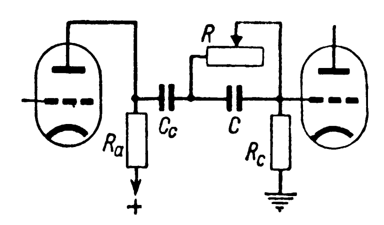
Подставляя значения X_C и f, находим емкость конденсатора

$$C = \frac{1}{6{,}28 \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 5\,000 \cdot 44\,000} \approx 725 \cdot 10^{-12} \text{ ф} = 725 \text{ пф}.$$

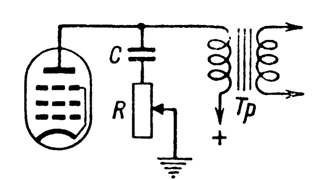
Низкие звуковые частоты могут быть ослаблены, если уменьшить емкость конденсатора C_c. Чем меньше емкость

этого конденсатора, тем большее сопротивление он представляет для более низких частот и тем меньшее напряжение этих частот подается на управляющую сетку лампы следующего каскада усиления. Для средних и более высоких частот конденсатор C_c не представляет заметного сопротивления и эти частоты подаются на сетку следующей лампы неослабленными.

Для осуществления плавной регулировки тембра на низших частотах может быть применена схема, показанная на фиг. 30. В этой схеме последовательно с разделительным конденсатором C_c включен еще один конденсатор C, который зашунтирован переменным сопротивлением R. Когда переменное сопротивление полностью введено, то в цепи действует общее емкостное сопротивление обоих последовательно соединенных конденсаторов, вследствие чего низшие частоты ослабляются в наибольшей степени. Когда же это сопротивление закорочено, то конденсатор C не участвует в работе каскада, и низкие частоты усиливаются без ослабления. При промежуточном положении ползунка переменного сопротивления R получается частичное ослабление низших частот.



Фиг. 30. Схема для корректирования частотной характеристики усилителя в области низких частот.



Фиг. 31. Схема включения тонкорректирующей цепи, состоящей из конденсатора и переменного сопротивления.

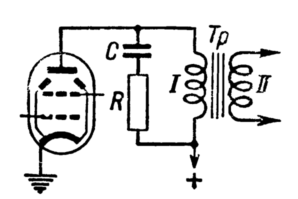
Большим применением пользуется схема регулятора тембра, показанная на фиг. 31. Эта схема позволяет в широких пределах изменять частотную характеристику усилителя в области высших частот звукового диапазона. Корректирующая цепь состоит из конденсатора постоянной емкости C (10 000—50 000 *пф*) и переменного сопротивления R (0,1—0,2 *мгом*).

Вместо показанного на фиг. 31 включения конденсатора C и переменного сопротивления R в анодную цепь лампы

параллельно анодной нагрузке подобный регулятор тембра может быть включен в цепь управляющей сетки параллельно сеточному сопротивлению (утечке сетки).

Наибольшее ослабление высших звуковых частот в этой схеме получается при закороченном переменном сопротивлении *R*. Тогда эта схема ничем не отличается от приведенной на фиг. 29. При полностью введенном переменном сопротивлении *R* и при его достаточно большой величине высшие частоты не ослабляются.

Использование пентода или лучевого тетрода в качестве оконечного усилителя при работе на электродинамический громкоговоритель способствует большему усилению высших частот звукового диапазона, чем средних и низших. Поэтому для улучшения частотной характеристики кроме регуляторов тембра часто применяют тонкорректоры, шунтирующие первичную обмотку *I* выходного трансформатора *Тр* и состоящие из конденсатора *С* емкостью в несколько сотых долей микрофарады и постоянного сопротивления *R* в несколько десятков или сотен тысяч *ом* (фиг. 32). Необходимые величины конденсатора и сопротивления для такой цепи лучше всего подобрать опытным путем. Подобная корректирующая цепь уменьшает свое сопротивление на высших частотах звукового диапазона и тем самым компенсирует увеличения на этих частотах индуктивного сопротивления первичной обмотки выходного трансформатора, устраняя в значительной мере частотные искажения, вносимые выходным каскадом.



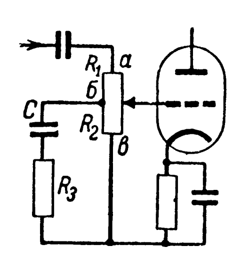
Фиг. 32. Схема подключения постоянной корректирующей цепи.

Корректирующая цепь часто применяется также в ручных регуляторах громкости. Необходимость такого применения обусловливается следующим. Регулятор громкости при изменении громкости передачи в одинаковой степени ослабляет напряжение всех звуковых частот сигнала. Однако наши слуховые органы не одинаково воспринимают звуки разной частоты. Так, например, ухо сравнительно плохо слышит негромкие звуки низкой и высокой звуковой частоты, в то же время хорошо воспринимает звуки средних частот (1 000—3 000 *гц*). Поэтому при малых громкостях средние звуковые частоты остаются еще хорошо слышимыми, тогда как низкие и высокие звуки почти совсем пропадают. Это

получается даже и в том случае, если приемник обладает хорошей частотной характеристикой.

Указанный недостаток, вызванный чисто физиологическими особенностями слуха, можно устранить, если при уменьшении громкости передачи одновременно повышать усиление на низких и высоких звуковых частотах, т. е. обеспечить соответствующий подъем частотной характеристики на низких и высоких частотах. Такие регуляторы громкости, дающие возможность производить одновременно коррекцию частотной характеристики, называются компенсированными регуляторами громкости.

Следует отметить, что одновременная компенсация как низких, так и высоких звуковых частот связана с известными трудностями. Поэтому обычно применяются более простые схемы, дающие возможность осуществлять коррекцию лишь на низких частотах, так как отсутствие последних сказывается на качестве звучания значительно больше, чем отсутствие высоких частот.



Фиг. 33. Схема регулятора громкости с компенсацией низких звуковых частот.

Принципиальная схема регулятора громкости с компенсацией низких частот приведена на фиг. 33. Он состоит из общего переменного сопротивления R_1R_2, имеющего отвод в точке *б*, к которому присоединена корректирующая цепь из конденсатора *C* и сопротивления R_3.

Когда ползунок переменного сопротивления находится в точке *а*, корректирующая цепь не оказывает какого-либо существенного влияния на частотную характеристику, так как на управляющую сетку лампы подается полное напряжение. При положении ползунка в точке *б* деление напряжения определяется отношением сопротивлений участков *а—б* и *б—в*. Для средних и высоких звуковых частот конденсатор *C* представляет собой незначительное сопротивление, так что общее сопротивление участка *б—в* образуется включенными параллельно сопротивлениями R_2 и R_3. Так как величина R_3 берется значительно меньшей, чем R_2, то шунтирующее действие R_3 сказывается достаточно сильно и падение напряжения этих частот на данном участке сравнительно невелико.

На низких частотах звукового диапазона деление напряжения в этой же точке определяется соотношением тех же

сопротивлений. Однако при этом сопротивление между точками *б* и *в* будет уже бо́льшим, так как сопротивление конденсатора *C* возрастет и шунтирующее действие параллельной ветви из *C* и R_3 не будет сказываться в прежней мере. Вследствие этого падение напряжения для низких частот на участке *б—в* становится более значительным, чем для средних и высоких частот, и на сетку усилительной лампы поступит большее напряжение. Шунтирующее действие цепочки CR_3 уменьшается с уменьшением частоты, а напряжение, подаваемое на сетку, наоборот, увеличивается, что создает подъем характеристики на низких звуковых частотах.

При положении ползунка между точками *а* и *б* получаются промежуточные частотные характеристики с постепенным подъемом низких частот по мере передвижения ползунка к точке *б*. Когда ползунок находится между точками *б* и *в*, получается такая же частотная характеристика, как и для точки *б*, так как происходящее при этом деление напряжения разных частот останется тем же.

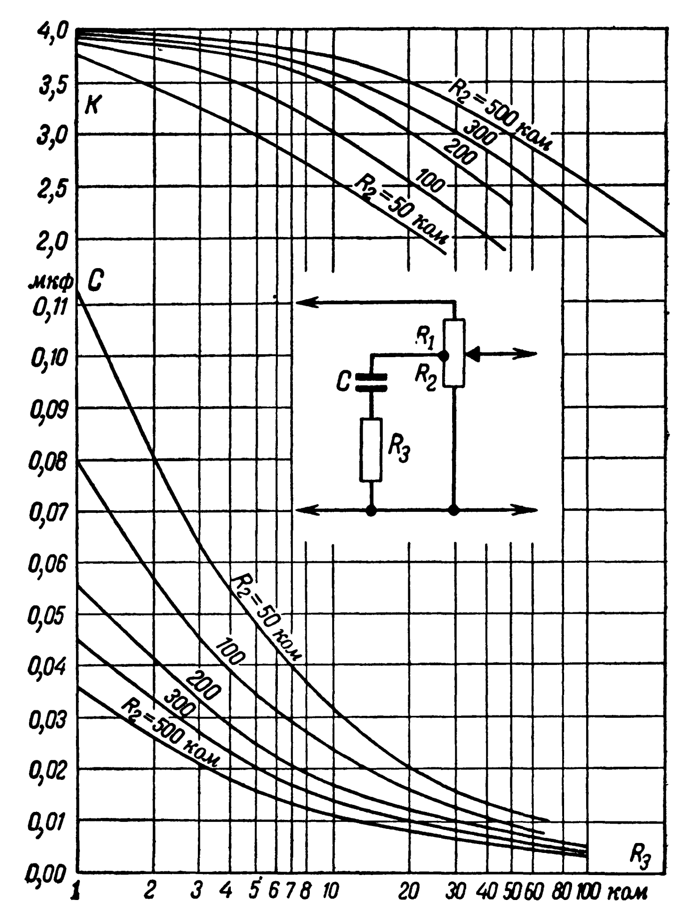
Компенсированный регулятор громкости обычно включается между детекторным каскадом и предварительным усилителем низкой частоты.

Значения входящих в схему регулятора величин можно определить по графикам, приведенным на фиг. 34. Для выполнения расчета надо знать (или задаться) величину части R_2 переменного сопротивления. Обычно эта величина берется в 2—4 раза меньшей, чем величина остальной части R_1 переменного сопротивления. Таким образом, R_2 должно составлять 20—35% от общей величины сопротивления регулятора громкости. Величина же общего сопротивления регулятора громкости выбирается в соответствии с указаниями, которые приводились выше. Кроме этого, надо задаться величиной *K*, т. е. коэффициентом компенсации, показывающим, во сколько раз желательно усилить низкие тона. Его величина обычно выбирается в пределах от 2 до 4.

Пользуются графиками следующим образом. Допустим, что общее сопротивление регулятора громкости должно быть равно 1 *мгом*, а сопротивление R_2 составляет 20% от общей величины, т. е. 200 *ком*. Предположим при этом, что нижние частоты желательно усиливать в 3 раза, т. е. $K = 3$.

В верхней части фиг. 34 находим точку пересечения кривой $R_2 = 200$ *ком* с горизонтальной линией $K = 3$. Найденную точку переносим вниз по вертикали до пересечения с аналогичной кривой $R_2 = 200$ *ком* и находим, что $C \approx 0{,}013$ *мкф* = 13 000 *пф*, и $R_3 = 20$ *ком* = 20 000 *ом*.

В современных радиоприемниках все чаще начинает применяться тонкомпенсация и регулировка тембра с помощью отрицательной обратной связи. Именно такой способ и при-

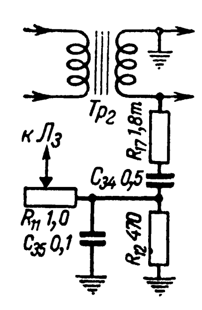


Фиг. 34. Графики для расчета элементов регулятора громкости с компенсацией низких звуковых частот.

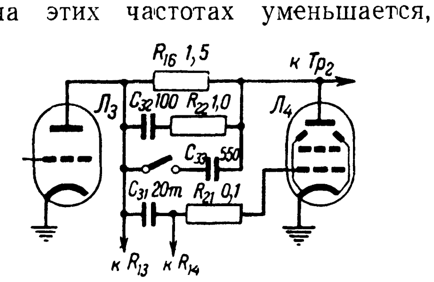
менен в приведенной на фиг. 17 схеме приемника. Участок этой схемы, позволяющий осуществлять компенсацию при помощи отрицательной обратной связи, показан на фиг. 35.

Параллельно вторичной обмотке выходного трансформатора $Тр_2$ включен емкостно-реостатный делитель напряже-

ния R_{17} — C_{34} — R_{12} — C_{35}. Напряжение обратной связи снимается с сопротивления R_{12} и через переменное сопротивление регулятора громкости R_{11} подается на управляющую сетку лампы $Л_3$. Элементы делителя напряжения подобраны таким образом, что на высоких и низких звуковых частотах падение напряжения на сопротивлении R_{12} получается меньшим, чем при средних частотах. Глубина отрицательной обратной связи зависит от положения ползунка переменного сопротивления R_{11}. При перемещении ползунка вниз, т. е. при уменьшении громкости, глубина обратной связи возрастает. Так как на высоких и низких звуковых частотах напряжение обратной связи получается меньшим, чем на средних, то и ослабление усиления на этих частотах уменьшается,



Фиг. 35. Цепь отрицательной обратной связи.



Фиг. 36. Схема с отрицательной обратной связью по напряжению.

что приводит к соответствующему подъему частотной характеристики на этих участках. Так как глубина обратной связи возрастает с уменьшением громкости, то и подъем частотной характеристики более явно выражен при малых уровнях громкости, что компенсирует уменьшение чувствительности нашего уха к низким и высоким звуковым частотам.

Для улучшения частотной характеристики и для регулировки тембра в схеме приемника (фиг. 17) применена еще и отрицательная обратная связь по напряжению, подаваемому с анода лампы $Л_4$ на ее управляющую сетку через разделительный конденсатор C_{31}. Эта часть схемы отдельно показана на фиг. 36.

Напряжение обратной связи подается с анода лампы $Л_4$ через цепь, составленную из сопротивления R_{22} и последовательно соединенного конденсатора C_{32}. Параллельно этой цепи присоединено еще одно сопротивление R_{16}.

Напряжение на управляющую сетку лампы $Л_4$ поступает в обратной фазе, вследствие чего создается некоторое ослабление сигнала. Однако это ослабление неодинаково для всех частот. Так как в цепи имеется конденсатор C_{32}, который для низких и средних звуковых частот оказывает вследствие своей малой величины большее сопротивление, чем для высоких, то и напряжение обратной связи на сетке лампы для высоких звуковых частот получается бо́льшим, чем для низких или средних, и эти частоты ослабляются в меньшей степени.

Для регулировки тембра служит конденсатор C_{33}, который может быть включен в цепь отрицательной обратной связи. При включении конденсатора C_{33} напряжение высоких частот звукового диапазона, подаваемое в обратной фазе на управляющую сетку лампы $Л_4$, увеличивается, вследствие чего усиление на этих частотах уменьшается.

ДОПУСТИМЫЕ ОТКЛОНЕНИЯ ВЕЛИЧИН СОПРОТИВЛЕНИЙ И ЕМКОСТЕЙ

Практически не всегда возможно применить точно те величины сопротивлений, которые получились по расчету или указаны на выбранной схеме. Во всех таких случаях можно допускать некоторые отклонения от этих величин, причем иногда без особого ущерба для качества работы приемника.

Для перечисленных ниже различных цепей приблизительно допустимы следующие отклонения величины сопротивлений:

Нагрузочные сопротивления в анодных цепях	До 15%
Сопротивления развязывающих фильтров в анодных цепях	„ 20%
Сопротивления в цепях экранных сеток	„ 10%
Сопротивления в цепях управляющих сеток	„ 20%
Сопротивления в цепях катодов	„ 10%
Делители напряжений анодные	„ 5%
Делители напряжения смещения, проволочные	„ 2%
То же, непроволочные	„ 5%
Сопротивления в цепи отрицательной обратной связи	„ 10%
Сопротивления в цепях фильтров, корректирующих частотную характеристику	„ 5%

Так, например, если развязывающее сопротивление в цепи анода лампы получилось по расчету равным 20 000 *ом*, то без ущерба для качества работы приемника можно взять величину этого сопротивления в пределах от 18 000 до 22 000 *ом*.

Емкости конденсаторов, так же как и величины сопротивлений, могут иметь отклонения от расчетных значений и в некоторых случаях даже с бо́льшими допусками.

Для разделительных конденсаторов, применяемых в усилителях низкой частоты, отклонение от расчетной величины может составлять 20—30%.

Конденсаторы, шунтирующие сопротивление в цепях катодов ламп усилителей высокой и промежуточной частоты, а также преобразователей и смесителей, могут быть взяты с допуском до 10% в сторону уменьшения емкости и не ограничиваются в сторону ее увеличения.

Емкости блокировочных конденсаторов в анодных цепях и цепях экранных сеток могут быть меньше расчетных на 20%, а также сколь угодно большими.

Допустимые отклонения емкостей конденсаторов, применяемых в корректирующих цепях, улучшающих частотную характеристику усилителей низкой частоты, не должны превышать 10% от расчетных величин.

ГЕНЕРАТОРЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ И КОНДЕНСАТОРАХ

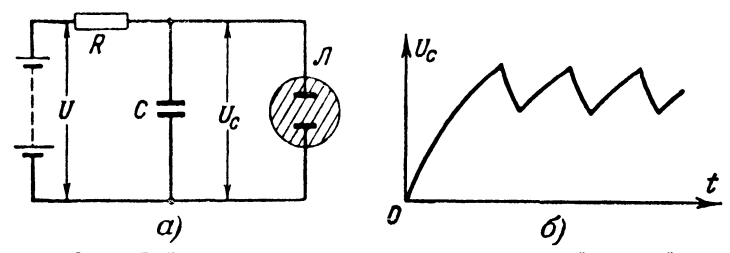
РЕЛАКСАЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С НЕОНОВОЙ ЛАМПОЙ

Сопротивления и конденсаторы применяются не только в схемах радиоприемников, но также широко используются в схемах различного рода генераторов, где они играют иногда первостепенную роль, т. е. являются такими элементами, без которых невозможна работа схемы. К числу схем, основанных на применении сопротивлений и конденсаторов, относится одна из многих разновидностей схем релаксационного генератора, показанная на фиг. 37,*а*. В этой схеме последовательно с сопротивлением *R* включена газоразрядная, например неоновая, лампа *Л*, параллельно которой присоединен конденсатор *С*.

Газонаполненные лампы обладают тем свойством, что они загораются и начинают проводить через себя ток только при некотором определенном напряжении, которое называет-

ся *потенциалом зажигания* лампы. Если у горящей лампы постепенно уменьшать приложенное к ней напряжение, то при некотором напряжении, называемом *потенциалом гашения,* лампа перестает гореть и проводить через себя ток. При этом потенциал гашения всегда ниже потенциала зажигания. Когда лампа не горит, сопротивление ее близко к бесконечности, а когда она загорается, ее внутреннее сопротивление становится сравнительно небольшим.

Посмотрим, что происходит при работе такой схемы. После того как цепь будет замкнута, источник тока начнет заряжать конденсатор *C*. Но так как заряд происходит через сопротивление *R* обычно довольно большой величины, то заряд конденсатора будет протекать довольно медленно.



Фиг. 37. Релаксационный генератор с неоновой лампой.
а — схема генератора; *б* — график изменения напряжения на конденсаторе *C*.

Напряжение, которое получается на конденсаторе в результате его заряда, графически изображено на фиг. 37,*б*. Оно постепенно повышается и достигает потенциала зажигания. Тогда лампа зажигается и начинает проводить через себя ток.

Когда лампа зажжется, она для цепи представляет сравнительно небольшое сопротивление, вследствие чего конденсатор *C* начнет через нее разряжаться, постепенно отдавая свой заряд. С уменьшением же заряда конденсатора падает и напряжение на его обкладках. Этот процесс также отражен на фиг. 37,*б*.

Напряжение может уменьшиться настолько, что не будет уже в состоянии поддерживать горения лампы *Л*. Тогда она потухает и разряд конденсатора через нее прекращается.

Затем начинается новый заряд конденсатора, продолжающийся до тех пор, пока напряжение на его обкладках не достигнет потенциала зажигания. После этого лампа

вновь зажжется, конденсатор начнет разряжаться через нее, и весь процесс повторится.

Процесс периодических зарядов и разрядов конденсатора и связанных с ними зажиганий и потуханий лампы повторяется все время и носит периодический характер.

Если к такой цепи, например к конденсатору, присоединить какую-нибудь нагрузку, то по ней будет проходить электрический ток, изменяющийся с частотой зажигания — гашения лампы. Обычно такая нагрузка присоединяется через выходной трансформатор. В целях упрощения схемы выходной трансформатор на ней не показан.

Частота колебаний, создаваемых таким генератором, зависит в основном от постоянной времени RC. Частота колебаний тем выше, чем меньше постоянная времени RC. Действительно, чем больше емкость, тем больше надо времени, чтобы зарядить ее до нужного предела, но вместе с тем должно пройти больше времени, пока она разрядится до напряжения, при котором погасает лампа. С другой стороны, чем больше сопротивление R, тем дольше будет заряжаться конденсатор.

Но частота колебаний зависит не только от этого. На нее влияет и напряжение источника тока, и потенциал зажигания и гашения лампы. Таким образом, хотя частота колебаний и зависит в основном от данных R и C, но и другие факторы оказывают на нее большое влияние.

У релаксационного генератора на неоновой лампе, как и у других генераторов подобного же типа, недостатком является то, что получаемые колебания носят своеобразный характер и очень далеки от синусоидальных колебаний. Глядя на график, представленный на фиг. 37,*б*, нетрудно убедиться в том, что форма таких колебаний электрического тока или напряжения носит пилообразный характер. Колебания такого рода находят применение в прикладной радиотехнике и, в частности, в телевидении, в измерительной технике, в лабораторной практике и пр.

То, что частота зависит не только от постоянной времени входящих в схему элементов R и C, но и от напряжений источника тока, зажигания и гашения лампы, делает расчет такого генератора в любительских условиях довольно сложным. Тем из радиолюбителей, которые захотят построить себе подобный генератор, мы можем лишь посоветовать подобрать все входящие в схему элементы опытным путем.

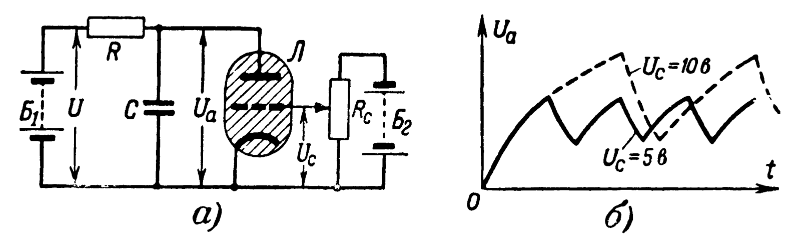
Надо сказать еще следующее. Всякое несинусоидальное периодическое колебание, а к таковым относятся и пилообразные колебания, составляются из ряда синусоидальных колебаний, т. е. из основного колебания и колебаний с частотами, превышающими частоту основного колебания в 2, 3, 4, 5 и т. д. раза. Так, например, если генератор дает колебания с основной частотой в 200 *гц*, то одновременно с этой частотой получаются колебания с частотами в 400, 600, 800, 1 000 *гц* и т. д. Амплитуды этих дополнительных частот (гармоник) зависят от формы и характера колебаний, получаемых от генератора. Это надо учитывать при постройке генератора.

Недостатком приведенной простой схемы получения релаксационных колебаний при помощи неоновой лампы является низкий к. п. д. Он обусловливается тем, что то напряжение, при котором погасает неоновая лампа, сравнительно мало отличается от напряжения, при котором эта лампа зажигается.

РЕЛАКСАЦИОННЫЙ ГЕНЕРАТОР С ТИРАТРОНОМ

Другая схема релаксационного генератора приведена на фиг. 38,*а*.

Эта схема содержит тиратрон *Л*, сопротивление *R*, конденсатор *С*, потенциометр R_c и источники $Б_1$ и $Б_2$.



Фиг. 38. Релаксационный генератор с тиратроном.
а — схема генератора; *б* — графики изменения напряжения на конденсаторе *С* при различных напряжениях на сетке тиратрона.

Рассмотрим принцип действия такого генератора.

Основной источник тока $Б_1$ с напряжением *U* через цепь *R* и *С* присоединен к катоду — аноду тиратрона *Л*. Между катодом и сеткой тиратрона включен дополнительный источник $Б_2$, который подает некоторое отрицательное напряжение смещения на сетку. Это напряжение может регулироваться потенциометром R_c.

Следует отметить, что наличие специального источника тока $Б_2$ в этой схеме для подачи напряжения смещения необязательно, так как оно может быть получено от смещающего сопротивления, включенного в цепь катода тиратрона, аналогично тому, как это делается во многих схемах радиоприемников.

При включении схемы после того, как конденсатор *C* зарядится до напряжения, превышающего напряжение зажигания тиратрона, последний зажжется.

При этом конденсатор *C* начнет разряжаться через тиратрон *Л* и напряжение на нем начнет падать. Когда это напряжение станет меньше напряжения погасания тиратрона, последний погаснет, разряд конденсатора *C* прекратится и начнется его заряд от источника $Б_1$ через сопротивление *R*. Напряжение на конденсаторе *C* вновь начнет нарастать, и далее процесс будет повторяться. В результате, на конденсаторе *C* будет действовать напряжение, изменяющееся так, как показано на фиг. 38,*б*.

Тиратрон гаснет при сравнительно низком напряжении, приблизительно 10—20 *в*. Напряжение зажигания и гашения тиратрона зависит от того напряжения, которое подается на его сетку. Этим напряжением можно регулировать и частоту, и амплитуду колебаний, так как при более отрицательном напряжении на сетке тиратрона его зажигание происходит при более высоком напряжении на его аноде, вследствие этого удлиняется период колебаний и увеличивается их амплитуда. Для иллюстрации этого на фиг. 38,*б* показаны две кривые релаксационных колебаний, полученных при подаче на сетку тиратрона отрицательного напряжения —5 и —10 *в*.

Частота колебаний зависит не только от напряжения смещения на сетке тиратрона, а главным образом от постоянной времени *RC*. Чем меньше *RC*, тем меньше частота колебаний.

Процессы ионизации и деионизации газа, находящегося в тиратроне, происходят не мгновенно, а в течение некоторого времени, измеряемого десятками микросекунд. Это ограничивает возможность получения от подобных генераторов очень высокой частоты.

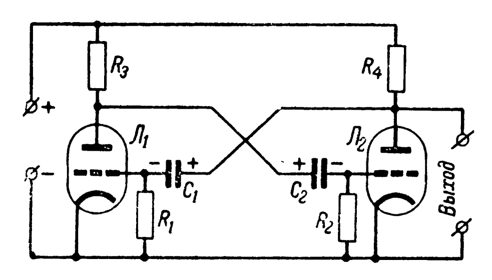
Как показал опыт, верхний предел частот, которые можно получить от генераторов с тиратронами, составляет 10—15 *кгц*.

МУЛЬТИВИБРАТОР

Для получения релаксационных колебаний высоких частот часто применяют генераторы, называемые *мультивибраторами*. Такие генераторы могут быть изготовлены на частоты до 100—200 *кгц* и выше.

Рассмотрим одну из многочисленных схем мультивибраторов.

Схема (фиг. 39) содержит две лампы, причем обе половины схемы симметричны. В анодных цепях ламп $Л_1$ и $Л_2$ включены нагрузочные сопротивления R_3 и R_4, а в цепях сеток — сопротивления R_1 и R_2. Анод лампы $Л_1$ соединен с сеткой лампы $Л_2$ через конденсатор C_2, а анод лампы $Л_2$ —



Фиг. 39. Схема мультивибратора.

с сеткой лампы $Л_1$ через конденсатор C_1. В схеме применены одинаковые лампы $Л_1$ и $Л_2$, сопротивления R_1 и R_2, сопротивления R_3 и R_4 и конденсаторы C_1 и C_2.

После того как на лампы мультивибратора поданы соответствующие напряжения питания, в их анодных цепях начинает проходить анодный ток. Одновременно с этим на конденсаторах C_1 и C_2 накапливаются заряды, так как конденсатор C_1 оказывается включенным между полюсами анодного источника тока через сопротивления R_4 и R_1, а конденсатор C_2 — через сопротивления R_3 и R_2.

Если обе половины схемы, т. е. лампы $Л_1$ и $Л_2$ и элементы их цепей R_1 и R_2, C_1 и C_2, R_3 и R_4 соответственно одинаковы, то и анодные токи обеих ламп равны. В действительных же условиях получить абсолютное совпадение режимов и параметров ламп, а также данных деталей, входящих в схему, оказывается практически невозможным, вследствие чего анодные токи ламп, хотя и на небольшую величину, будут отличаться между собой.

Предположим, что по каким-либо причинам произошло увеличение анодного тока лампы $Л_1$. При возрастании этого тока произойдет увеличение падения напряжения на сопротивлении R_3, вследствие чего напряжение на аноде лампы $Л_1$ уменьшится. Так как анод лампы $Л_1$ связан через конденсатор C_2 с сеткой лампы $Л_2$, то уменьшение напряжения на аноде лампы $Л_1$ приведет к появлению дополнительного отрицательного потенциала на сетке лампы $Л_2$, что немедленно вызовет уменьшение ее анодного тока. Уменьшение же анодного тока лампы $Л_2$ приводит к уменьшению падения напряжения на сопротивлении R_4 и соответствующему повышению напряжения на аноде лампы $Л_2$. В результате этого отрицательный потенциал на сетке лампы $Л_1$, связанной с анодной цепью лампы $Л_2$ через конденсатор C_1, понизится, что приведет к дальнейшему повышению анодного тока лампы $Л_1$.

Дальше процесс изменения анодных токов идет в том же порядке до тех пор, пока анодный ток лампы $Л_2$ не станет равным нулю, а анодный ток лампы $Л_1$ не достигнет при этом некоторого максимального значения. Весь этот процесс происходит весьма быстро и продолжительность его измеряется долями микросекунды.

После того как лампа $Л_2$ окажется запертой, начинается разряд конденсатора C_2 через сопротивление R_2, причем отрицательный потенциал на сетке лампы $Л_2$ соответственно уменьшается. Такое уменьшение потенциала на сетке при отсутствии анодного тока продолжается до тех пор, пока смещение на сетке не становится равным напряжению отсечки, после чего появится анодный ток лампы $Л_2$. В течение этого времени анодный ток лампы $Л_1$ и напряжение на ее аноде сохраняют постоянное значение, а напряжение на аноде лампы $Л_2$ равно напряжению источника тока, так как падения напряжения на сопротивлении R_4 нет.

Появление анодного тока в лампе $Л_2$ уменьшит напряжения на ее аноде, что вызовет дополнительный отрицательный потенциал на сетке лампы $Л_1$ и приведет к уменьшению ее анодного тока. Лампы как бы переменятся своими функциями, в результате чего через короткий промежуток времени анодный ток в лампе $Л_2$ достигнет максимума, а лампа $Л_1$ окажется запертой и ее анодный ток станет равен нулю. Иначе говоря, повторится процесс, рассмотренный ранее, с той лишь разницей, что запертой будет уже не лампа $Л_2$, а $Л_1$.

Далее начнется разряд конденсатора C_1 через сопротивление утечки R_1, и когда смещение на сетке $Л_1$ станет равным напряжению отсечки анодного тока, произойдет следующее переключение схемы. В результате весь процесс будет периодически повторяться. Таким образом, мультивибратор будет служить генератором колебаний, имеющих некоторую собственную частоту.

Собственная частота колебаний f_0 зависит от постоянных времени R_1C_1 и R_2C_2. Приближенно она равна обратной величине их суммы, т. е.

$$f_0 = \frac{1}{R_1C_1 + R_2C_2},$$

где

f_0 — собственная частота, *гц*;
R_1 и R_2 — сопротивление утечек сеток, *ом*;
C_1 и C_2 — емкости конденсаторов, *ф*.

Так, например, если $R_1 = R_2 = 10\,000$ *ом* $= 10^4$ *ом*, а $C_1 = C_2 = 1000$ *пф* $= 10^{-9}$ *ф*, то

$$f_0 = \frac{1}{10^4 \cdot 10^{-9} + 10^4 \cdot 10^{-9}} = 50\,000 \text{ гц}.$$

Если сопротивления и емкости взять достаточно большими, то можно получить очень низкую собственную частоту, начиная с единиц герц. Величина сопротивлений R_3 и R_4 обычно берется порядка 10 000—20 000 *ом*.

Форма колебаний, создаваемых мультивибратором, несинусоидальна, а приближается к прямоугольной. Такие колебания богаты интенсивными гармониками. Это дает возможность получать от мультивибратора наряду с основной частотой частоты в 2, 3, 4 и т. д. раза бо̀льшие, чем основная. Так, например, если мультивибратор работает с основной частотой колебаний в 50 *кгц*, то частота его второй гармоники равна 100 *кгц*, третьей — 150 *кгц*, четвертой — 200 *кгц* и т. д., через каждые 50 *кгц*. Практически число гармоник может доходить до нескольких десятков или даже сотен.

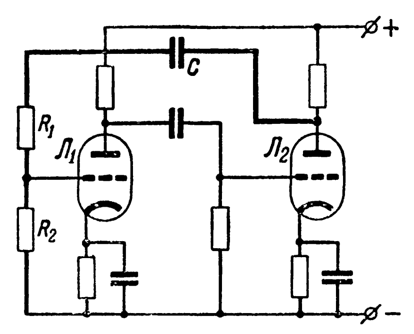
Мультивибратор можно использовать в качестве простого сигнал-генератора для настройки и проверки приемников и другой радиоаппаратуры, для градуировки волномеров и т. п. Выходные концы от мультивибратора присоединяются к аноду одной из его ламп и ее катоду. Для того чтобы нагрузка существенно не влияла на работу мультивибратора

и не изменяла частоту его колебаний, входное сопротивление нагрузки должно быть достаточно велико (порядка сотен тысяч ом).

ГЕНЕРАТОРЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

В настоящее время широкое применение получили генераторы синусоидальных колебаний, у которых отсутствуют обычные колебательные контуры, состоящие из катушки индуктивности и емкости. Такие генераторы основаны на применении сопротивлений и конденсаторов, поэтому их и называют генераторами на *R* и *C*. Они просты по устройству и обходятся дешевле обычных генераторов.

Для пояснения принципа действия генератора на *R* и *C* сначала рассмотрим двухкаскадную схему усилителя низкой частоты (фиг. 40). По сравнению с обычной схемой усилителя в ней имеется небольшое добавление: от анода лампы $Л_2$, т. е. с выхода усилителя, через делитель из сопротивлений R_1 и R_2 часть выходного напряжения подается на сетку лампы $Л_1$.



Фиг. 40. Схема усилителя низкой частоты с цепью обратной связи.

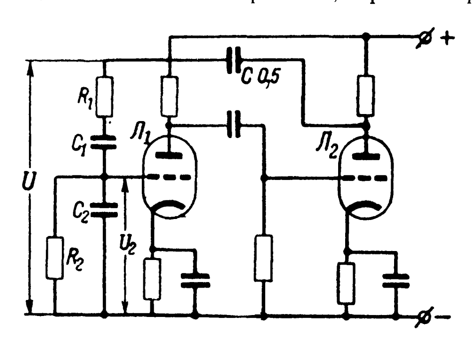
Как известно, любой усилитель может быть превращен в генератор. Для этого необходимо часть его выходного напряжения подать обратно на вход. При этом надо соблюсти два основных условия: 1) подаваемое на вход напряжение должно быть в фазе с напряжением, действующим на сетке лампы $Л_1$; 2) напряжение, подаваемое на сетку лампы $Л_1$, должно быть достаточной величины.

Оба эти условия соблюдены в приведенной схеме. Так как каждая лампа поворачивает фазу напряжения на 180°, то на аноде лампы $Л_2$ (на выходе) напряжение находится в фазе с напряжением, действующим на сетке лампы $Л_1$. Что же касается величины напряжения, подаваемого на вход усилителя с выхода, то его можно изменять в широких пределах, подбирая соответственно значения сопротивлений R_1 и R_2, составляющих делитель напряжения.

Хотя усилитель при этих условиях и будет генерировать, но форма колебаний будет весьма далека от синусоидальной вследствие большого числа содержащихся в них гармоник.

Наличие большого числа колебаний разных частот в этом случае объясняется тем, что усилитель одновременно генерирует разные частоты, так как указанные выше условия выполняются одновременно для любой частоты вследствие того, что каждая лампа схемы поворачивает фазу колебаний на 180° независимо от частоты.

Можно добиться, чтобы такой усилитель генерировал только одну какую-либо желаемую частоту. Для этого его надо поставить в режим, при котором упомянутые условия соблюдаются только для этой одной частоты и нарушаются для всех иных. Тогда генератор будет давать чисто синусоидальные колебания вполне определенной частоты.



Фиг. 41. Схема усилителя низкой частоты со специальной цепью обратной связи.

Этого можно достигнуть, если в усилителе выполнить цепь обратной связи так, как показано на схеме фиг.41. В ней напряжение с анода лампы $Л_2$ через разделительный конденсатор C, так же как и в предыдущей, подается на делитель напряжения, но последний составлен не только из сопротивлений R_1 и R_2, но и из конденсаторов C_1 и C_2, включенных как в верхнюю, так и нижнюю его части.

На фиг. 42 показана зависимость сопротивления элементов такого делителя от частоты. Как известно, сопротивление конденсатора переменному току уменьшается с повышением частоты. Изменение сопротивления конденсаторов C_1 и C_2 изображено кривой *1*. Активные сопротивления R_1 и R_2 не зависят от частоты и поэтому на графике их величины показаны прямой линией *2*. Полное сопротивление Z_1 части делителя, в которой сопротивление R_1 соединено последовательно с конденсатором C_1, является геометрической суммой емкостного сопротивления конденсатора C_1 и активного сопротивления R_1. Его зависимость от частоты характери-

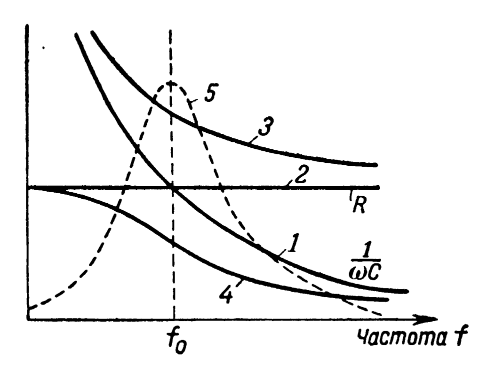
зуется кривой *3*. Зависимость полного сопротивления Z_2 части делителя, состоящей из параллельно включенных конденсатора C_2 и сопротивления R_2 от частоты, изображена кривой *4*.

Величина напряжения U_2, снимаемого с части делителя C_2R_2, зависит от соотношения полных сопротивлений его плеч (Z_1 и Z_2) и выражается формулой

$$U_2 = U \cdot \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}.$$

Если по этой формуле подсчитать величину U_2 для каких-либо заданных значений R_1, R_2, C_1 и C_2 при различных частотах и по подсчитанным данным построить график изменения U_2 в зависимости от частоты, то получится кривая *5*.

Таким образом, максимальное значение напряжения U_2 получается при некоторой определенной частоте f_0. Как раз эту частоту и будет генерировать приведенная схема.



Фиг. 42. Зависимость сопротивления элементов делителя напряжения цепи обратной связи от частоты.

Если при подсчетах взять иные данные элементов, входящих в делитель, то максимальное значение U_2 получится на некоторой другой частоте, и схема будет генерировать колебания новой частоты. Таким образом, выбирая те или иные данные для элементов делителя, можно получать колебания желаемой частоты.

Если элементы делителя подобраны так, что емкости конденсаторов C_1 и C_2, а также величины сопротивлений R_1 и R_2 соответственно равны, то напряжение U_2 будет наибольшим и равным примерно одной трети от U, т. е. от напряжения, подаваемого из анодной цепи выходной лампы $Л_2$.

Однако при этом должно быть соблюдено условие совпадения фаз. Оно выполняется в том случае, если произведение из емкостных сопротивлений конденсаторов C_1 и C_2 равно произведению активных сопротивлений R_1 и R_2. Такое

равенство может быть осуществлено только при одной определенной частоте, а именно, при которой величина U_2 достигает своего максимума.

Частота колебаний генератора при условии, что $C_1 = C_2$ и $R_1 = R_2$, может быть подсчитана по формуле

$$f_0 = \frac{1}{6{,}28 \cdot R_1 \cdot C_1} = \frac{1}{6{,}28 \cdot R_2 \cdot C_2},$$

где f_0 — частота, *гц*;
R_1 и R_2 — сопротивления, *ом*;
C_1 и C_2 — емкости *ф*.

Так, например, если $R_1 = R_2 = 1$ *мгом* $= 10^6$ *ом*, а $C_1 = C_2 = 1\,600$ *пф* $= 1{,}6 \cdot 10^{-9}$ *ф*, то генератор дает частоту

$$f_0 = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^6 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-9}} \approx 100 \text{ гц}.$$

Для упрощения подсчетов величины сопротивлений можно выражать в мегомах, а емкости — в микрофарадах.

В большинстве случаев при конструировании генераторов на R и C приходится подсчитывать не получающуюся частоту при выбранных значениях элементов делителя, а, наоборот, определять величины этих элементов по заданной частоте. Такой подсчет можно вести по формуле

$$R_1 \cdot C_1 = \frac{1}{6{,}28 \cdot f_0}.$$

Допустим, что необходимо определить величины элементов делителя, чтобы получить от генератора частоту 1 600 *гц*; тогда

$$R_1 \cdot C_1 = \frac{1}{6{,}28 \cdot 1\,600} \approx 0{,}0001.$$

Дальше остается выбрать такие величины R и C, чтобы их произведение составило число, равное 0,0001. Выражая емкость в микрофарадах, а сопротивление—в мегомах, можно взять $R_1 = R_2 = 0{,}1$ *мгом* и $C_1 = C_2 = 0{,}001$ *мкф* $= 1\,000$ *пф* или же $R_1 = R_2 = 0{,}2$ *мгом* и $C_1 = C_2 = 0{,}0005$ *мкф* $= 500$ *пф* и т. д.

Генераторы звуковой частоты на R и C на одну фиксированную частоту применяются довольно редко. В большинстве случаев от генератора требуется, чтобы он давал колебания в некотором диапазоне частот. В этом случае генератор должен иметь орган настройки на любую частоту нужного диапазона. Для этой цели сопротивления или ем-

кости делителя делаются переменными. Последнее оказывается более удобным, так как при этом можно воспользоваться сдвоенным конденсатором переменной емкости, который обеспечивает одинаковое изменение емкости в каждой из своих секций, что необходимо для точной настройки на выбранную частоту.

Так как частота генератора находится в прямой зависимости от емкости конденсатора, то перекрываемый конденсатором переменной емкости диапазон частот будет тем больше, чем больше изменяется емкость конденсатора от ее минимального до максимального значения.

Обычный конденсатор переменной емкости изменяет свою емкость примерно в 10 раз. Таким образом, если взять конденсатор с максимальной емкостью в 500 *пф*, то его минимальная емкость (учитывая емкость монтажа и пр.) может быть принята в 50 *пф*.

Рассчитаем величины сопротивлений R_1 и R_2 при таком конденсаторе для генератора, у которого наиболее низкая частота должна быть равна 20 *гц*.

Постоянная времени для этой частоты

$$R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2 = \frac{1}{6{,}28 \cdot 20} \approx 0{,}008.$$

Наиболее низкая частота получится при максимальной емкости конденсатора, т. е. когда $C_1 = C_2 = 500$ *пф* $= 0{,}0005$ *мкф*, тогда

$$R_1 = R_2 = \frac{0{,}008}{C_1} = \frac{0{,}008}{C_2} = \frac{0{,}008}{0{,}0005} = 16 \text{ мгом}.$$

Максимальная частота получится при выведенном конденсаторе, т. е. при $C_1 = C_2 = 50$ *пф* $= 0{,}00005$ *мкф*. Она будет равна:

$$f_0 = \frac{1}{6{,}28 \cdot 16 \cdot 0{,}00005} \approx 200 \text{ гц}.$$

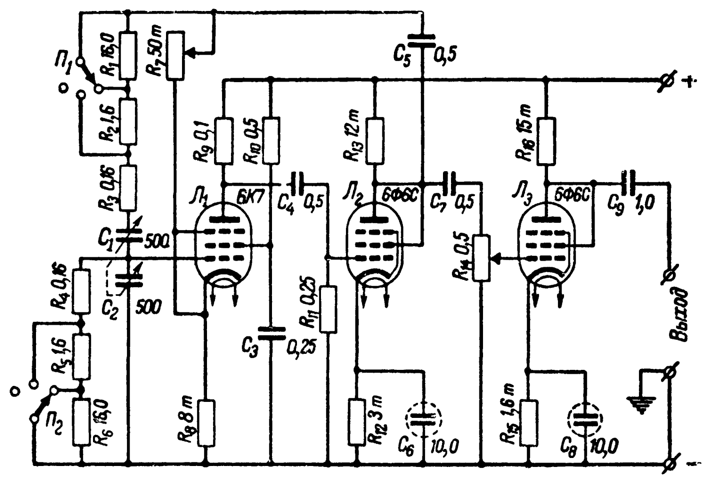
Таким образом, при применении в генераторе элементов с подсчитанными выше величинами оказывается возможным получить частоты в диапазоне от 20 до 200 *гц*. Практически такой небольшой диапазон часто оказывается недостаточным. Для того чтобы его расширить, элементы R_1 и R_2 составляют из нескольких сопротивлений, подключаемых к делителю при помощи переключателей.

Нетрудно подсчитать, пользуясь приведенными выше формулами, что для получения для нашего примера диапазона частот 200 ÷ 2 000 *гц* величина сопротивлений R_1 и R_2 должна составлять 1,6 *мгом*, а для диапазона частот 2 000 ÷ 20 000 *гц* — 0,16 *мгом*.

На фиг. 43 приведена практическая схема генератора *R* и *C*. Она отличается от предыдущей схемы наличием дополнительной лампы $Л_3$, являющейся усилителем мощности и служащей для предотвращения влияния нагрузки на ча-

стоту генерируемых колебаний. Напряжение, подаваемое на управляющую сетку этой лампы с генератора, регулируется потенциометром R_{14}.

Для улучшения формы кривой генерируемых колебаний, а также для регулировки усиления ламп $Л_1$ и $Л_2$, в схему



Фиг. 43. Схема звукового генератора на сопротивлениях и конденсаторах.

генератора введена отрицательная обратная связь, подаваемая с сопротивлений R_8 и R_7 в цепь катода лампы $Л_1$. Для возможности регулировки сопротивление R_7 делается переменным.

Назначение остальных деталей схемы (фиг. 43) такое же, как и в схемах, рассмотренных выше.

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Сопротивления типа ТО

Сопротивления типа ТО (тонкопленочные опрессованные) предназначаются для использования в аппаратуре и различных цепях постоянного тока низкой и высокой частоты в тех случаях, когда не требуется длительная стабильность величины сопротивления.

По своим размерам и величине рассеиваемой мощности сопротивления делятся на три вида в соответствии с табл. 1.

Таблица 1

Основные данные сопротивлений типа ТО

Обозначение сопротивлений	Номинальная мощность, *вт*	Диапазон номинальных значений сопротивлений, *ом*	Максимальное рабочее напряжение, *в*
ТО-0,25	0,25	$300 \div 10 \cdot 10^6$	200
ТО-0,75	0,75	$750 \div 3 \cdot 10^6$	400
ТО-1,5	1,5	$1\,000 \div 2 \cdot 10^6$	500

По допустимому отклонению действительной величины сопротивления разделяются на три класса точности:

I класс — допустимое отклонение ±5%;
II класс — допустимое отклонение ±10%;
III класс — допустимое отклонение ±20%.

Примечание. Сопротивления I класса изготовляются на номиналы не свыше 510 000 *ом.*

Обозначение сопротивления составляется из слова «сопротивление», типа, номинальной мощности, величины сопротивления и класса точности.

Пример. Сопротивление непроволочное типа ТО, мощностью 0,25 *вт*, величиной 62 000 *ом* с допустимым отклонением ±20% обозначается: сопротивление ТО-0,25—62 *ком*—III.

2. Сопротивления типа ВС

Сопротивления типа ВС предназначаются для использования в аппаратуре в цепях постоянного тока низкой и высокой частоты в тех случаях, когда требуется достаточная стабильность величины сопротивления.

По своим размерам и величине рассеиваемой мощности сопротивления делятся на шесть видов в соответствии с табл. 2

Таблица 2

Основные данные сопротивлений типа ВС

Обозначение сопротивлений	Номинальная мощность, *вт*	Диапазон номинальных значений сопротивлений, *ом*	Максимальное рабочее напряжение, *в*
ВС-0,25	0,25	$51 \div 5,1 \cdot 10^6$	250
ВС-0,5	0,5	$51 \div 10 \cdot 10^6$	450
ВС-1	1,0	$51 \div 10 \cdot 10^6$	500
ВС-2	2,0	$51 \div 10 \cdot 10^6$	750
ВС-5	5,0	$51 \div 10 \cdot 10^6$	750
ВС-10	10,0	$100 \div 10 \cdot 10^6$	1 500

По допустимому отклонению действительной величины сопротивления разделяются на три класса точности:

I класс — допустимое отклонение ±5%;
II класс — допустимое отклонение ±10%;
III класс — допустимое отклонение ±20%.

Примечание. Сопротивления величиной до 1 000 *ом* и выше 2 *мгом* выпускаются только по II и III классу точности.

Сопротивления могут работать при окружающей температуре воздуха в пределах от —60° С до +70° С и при относительной влажности воздуха до 98%.

Обозначение сопротивления составляется из слова «сопротивление», вида, величины сопротивления со знаком Ω и класса точности.

Пример. Сопротивление постоянное, непроволочное типа ВС, мощностью 2 *вт*, величиной сопротивления 330 *ом* и с допуском по величине сопротивления ±10% обозначается:

сопротивление ВС-2 — 330 Ω —II.

3. Шкала номинальных значений сопротивлений

Государственным стандартом (ГОСТ 2825-49) установлена шкала электрических постоянных непроволочных сопротивлений в пределах от 10 *ом* до 10 *мгом* с допустимыми отклонениями от номинала ±5%, ±10%, ±20% и более.

Эта шкала должна служить основанием для выбора номинальных значений постоянных непроволочных сопротивлений (табл. 3).

4. Конденсаторы типа КСО

Конденсаторы постоянной емкости со слюдяным диэлектриком, опрессованные в пластмассу (тип КСО), предназначаются для использования в аппаратуре, главным образом в качестве разделительных, блокировочных и сеточных в цепях высокой частоты.

Конденсаторы могут работать при температуре окружающего воздуха от —60° С до +70° С и при относительной влажности до 80%.

По конструкции и размерам конденсаторы делятся на десять видов: КСО-1, КСО-2, КСО-5, КСО-6, КСО-7, КСО-8, КСО-10, КСО-11; КСО-12 и КСО-13.

Пределы номинальных емкостей, номинальные рабочие напряжения и наибольшие реактивные мощности конденсаторов КСО приведены в табл. 4.

Таблица 3

Шкала номинальных значений постоянных непроволочных сопротивлений

ом				*мгом*		
10	100	1 000	10 000	0,1	1,0	10
11	110	1 100	11 000	0,11	1,1	
12	120	1 200	12 000	0,12	1,2	
13	130	1 300	13 000	0,13	1,3	
15	150	1 500	15 000	0,15	1,5	
16	160	1 600	16 000	0,16	1,6	
18	180	1 800	18 000	0,18	1,8	
20	200	2 000	20 000	0,20	2,0	
22	220	2 200	22 000	0,22	2,2	
24	240	2 400	24 000	0,24	2,4	
27	270	2 700	27 000	0,27	2,7	
30	300	3 000	30 000	0,30	3,0	
33	330	3 300	33 000	0,33	3,3	
36	360	3 600	36 000	0,36	3,6	
39	390	3 900	39 000	0,39	3,9	
43	430	4 300	43 000	0,43	4,3	
47	470	4 700	47 000	0,47	4,7	
51	510	5 100	51 000	0,51	5,1	
56	560	5 600	56 000	0,56	5,6	
62	620	6 200	62 000	0,62	6,2	
68	680	6 800	68 000	0,68	6,8	
75	750	7 500	75 000	0,75	7,5	
82	820	8 200	82 000	0,82	8,2	
91	910	9 100	91 000	0,91	9,1	

Таблица 4

Основные данные конденсаторов КСО

Тип	Емкость, *пф*	Рабочее напряжение, *в*	Наибольшая реактивная мощность, *ва*	Тип	Емкость, *пф*	Рабочее напряжение, *в*	Наибольшая реактивная мощность, *ва*
КСО-1	51—220	250	5	КСО-10	18 000—20 000	1 000	60
КСО-2	100—680	500	10	КСО-10	25 000—50 000	500	60
КСО-5	470—3 300	500	20	КСО-11	10—560	3 000	50
КСО-5	3 600—6 800	500	20	КСО-11	620—3 300	2 000	50
КСО-5	7 500—10 000	500	25	КСО-11	3 600—6 800	1 000	50
КСО-6	100—2 700	1 000	25	КСО-11	2 500—10 000	500	50
КСО-7	47—1 000	2 500	40	КСО-12	10—390	5 000	75
КСО-7	1 100—2 200	1 500	40	КСО-12	680—1 500	3 000	75
КСО-7	2 400—3 300	1 000	40	КСО-12	3 300—3 900	2 000	75
КСО-8	1 000—3 300	2 500	50	КСО-12	6 800—10 000	1 000	75
КСО-8	3 600—4 300	2 000	50	КСО-12	12 000—20 000	500	75
КСО-8	4 700—6 800	1 500	50	КСО-13	10—390	7 000	150
КСО-8	7 500—10 000	1 000	50	КСО-13	330—1 800	5 000	150
КСО-8	12 000—30 000	500	50	КСО-13	1 500—3 900	3 000	150
КСО-10	47—1 000	3 000	60	КСО-13	3 300—10 000	2 000	150
КСО-10	3 600—4 700	2 500	60	КСО-13	12 000—25 000	1 000	150
КСО-10	5 100—10 000	2 000	60	КСО-13	20 000—50 000	500	150
КСО-10	12 000—15 000	1 500	60				

По отклонению емкости от номинальной конденсаторы разделяются на четыре класса точности:

класс 0 — допустимое отклонение ±2%
класс I — допустимое отклонение ±5%
класс II — допустимое отклонение ±10%
класс III — допустимое отклонение ±20%
} но не точнее ±1 *пф*.

5. Шкала номинальных значений емкости

Государственным стандартом (ГОСТ 2519-49) установлена шкала емкостей электрических конденсаторов постоянной емкости в пределах от 1 *пф* до 2 000 *мкф* с допустимыми отклонениями от номинала ±5%, ±10%, ±20% и более.

Эта шкала служит основанием для выбора номинальных значений емкости конденсаторов (табл. 5).

Таблица 5

Номинальные значения емкостей конденсаторов

пф				*мкф*					
1	10	100	1 000	0,01	0,1	1	10	100	1 000
	11	110	1 100						
	12	120	1 200	0,012	0,12	1,2	12	120	1 200
	13	130	1 300						
1,5	15	150	1 500	0,015	0,15	1,5	15	150	1 500
	16	160	1 600						
	18	180	1 800	0,018	0,18	1,8	18	180	1 800
2	20	200	2 000	0,02	0,2	2	20	200	2 000
	22	220	2 200						
2,5	24	240	2 400						
	27	270	2 700	0,025	0,25	2,5	25	250	
3	30	300	3 000						
	33	330	3 300	0,03	0,3	3	30	300	
3,5	36	360	3 600						
4	39	390	3 900	0,04	0,4	4	40	400	
4,5	43	430	4 300						
	47	470	4 700						
5	51	510	5 100	0,05	0,5	5	50	500	
5,5	56	560	5 600						
6	62	620	6 200	0,06	0,6	6	60	600	
7	68	680	6 800	0,07	0,7	7	70	700	
	75	750	7 500						
8	82	820	8 200	0,08	0,8	8	80	800	
9	91	910	9 100						

Цена 2 р. 20 к.